This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

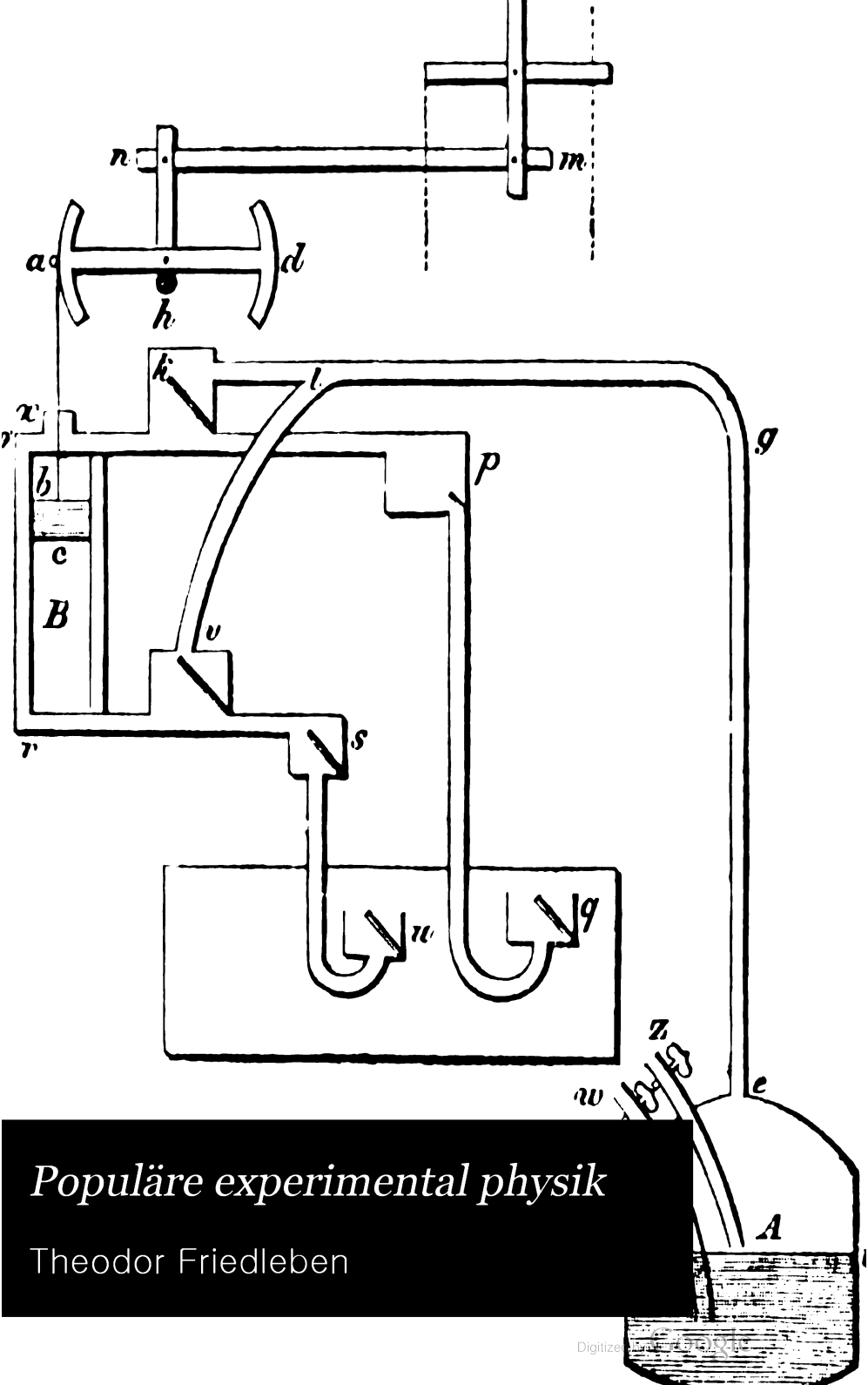
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`




# *Populäre experimental physik*

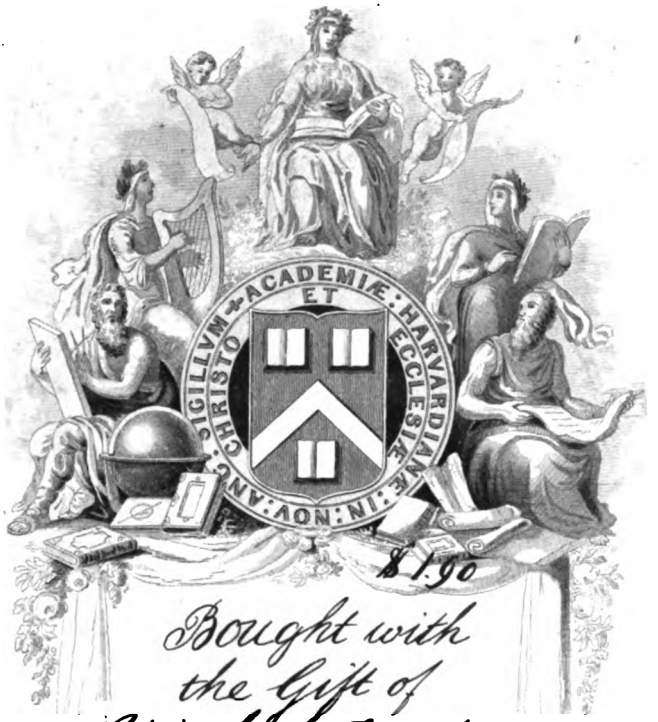
Theodor Friedleben

Digitized by Google

33.5.6

Phys 230.8.3

Physics
Scien. Works.




$1.90

Bought with
the Gift of
Uriah A. Boyden,
of Boston,
Civil Engineer.
Rec'd May, 1856

SCIENCE C

Digitized by Google

C. W. CHRISTERN
BROADWAY NEW-YORK

Digitized by Google

Digitized by Google

# Populäre
# Experimental-Physik

zum Gebrauch

**gemeinfaßlicher Vorträge**

und

zum Selbstunterricht für denkende Freunde der Naturwissenschaft und gebildete Gewerbtreibende aller Klassen.

---


Von

**Dr. Theodor Friedleben,**

Lehrer der physikalischen Wissenschaften an der Selectenschule, der mathematischen, physikalischen und mercantilischen Wissenschaften an der Mittelschule zu Frankfurt am Main, Mitglied mehrer naturforschenden und technischen Gesellschaften.


**Dritte, nach dem neuesten Standpunkte der Physik, gänzlich umgearbeitete, durchaus verbesserte und vermehrte Auflage.**

Mit eingedruckten Holzschnitten.


**Frankfurt am Main.**

J. D. Sauerländer's Verlag.

**1849.**



Digitized by Google

Phys 230.8.3
1856, May 10. $ 1.90
Bought with the Gift of
Uriah A. Boyden, Esq. of Boston,

Gottes unsichtbares Wesen, das ist, seine ewige Kraft und Gottheit, wird ersehen, so man deß wahrnimmt an den Werken, nemlich an der Schöpfung der Welt.

Röm. 1, 20.

Digitized by Google

# Vorwort zur zweiten Auflage.

Außer den beiden Schulanstalten, an welchen ich die Physik zu lehren berufen bin, habe ich auch mehrmalen schon öffentliche Vorträge darüber gehalten, und der ersten Auflage dieses Buches, das ich auf Verlangen des wackern Herrn Verlegers für den Druck ausarbeitete, lag, wie das dortige Vorwort es anzeigt, das Heft zu Grunde, nach welchem ich in den Wintermonaten 1819 und 1820 die Experimental-Physik vor einem kleinen Kreise sehr gebildeter Zuhörerinnen, zu dem auch die geistreichen Fräulein von Stein und von Wangenheim gehörten, vorzutragen eingeladen war.

Eben dieses Vorwort enthält auch einige Winke über den Zielpunkt dieses Werks, die allgemeinhin auch hier wieder gelten können. Dort heißt es nämlich: Bemerkungen, die den Plan, welcher der Ausführung zu Grunde liegt, betreffen, machen sich leicht von selbst, da der Titel den Standpunkt, den das Werk einzunehmen wünscht, und somit auch die Schranken, in denen es sich zu halten hatte, hinlänglich genau bezeichnet. Strenge Systeme, wie sie wohl für größere Werke passen mögen, sind in einem Werk, wie das gegenwärtige ist, weit weniger an ihrem Platze; desto mehr aber Deutlichkeit, geordneter Vortrag und Reichhaltigkeit, die nur nicht Weitschweifigkeit werden darf. Ist es mir gelungen diesen Weg einzuhalten, und darf ich mir schmeicheln, durch meinen Vortrag etwas zur Beförderung, Erhöhung und Befestigung wahrhaft religiöser Gefühle, die gerade in der Naturkunde eine so mächtige Stütze finden, beigetragen zu haben, so ist der Zweck, dem dieses Werk bestimmt ist, hinlänglich erreicht.

Die nun vorliegende zweite Auflage hat indeß nach Form und Inhalt bedeutende und sehr wesentliche Veränderungen erfahren, von denen zu hoffen steht, daß sie ihr zu Gute kommen werden. Zu diesen Veränderungen gehören auch unter andern die Vergrößerung des Formats, die Umwandlung der ursprünglichen drei Theile in Einen Band, die neue Eintheilung der Kapitel in fortlaufenden Paragraphen mit überschriebenem Inhalt, und eine hie und da nöthig befundene sachgemäßere Anordnung und Aneinanderreihung des Stoffes.

Vor Allem aber hat diese neue Auflage, in welcher Einiges aus der ältern Auflage, was als minder wesentlich sich herausstellte, mehr

Digitized by Google

in den Hintergrund getreten ist, den jetzigen Standpunkt der Physik stets vor Augen behalten, und sich von da aus so weit zu bereichern und vermehren gesucht, als es ihrem Plane, dem ihr zugedachten Umfang und mäßigen Preis nur immerhin zukam, und gemäß schien.

Zur Verhütung von Zweideutigkeiten bedarf es noch der Bemerkung, daß Multiplicationen in bestimmten Faktoren durch das Andreaskreuz (×) bezeichnet sind, indem Punkte zwischen den Zahlen nur zur Erleichterung der Aussprache derselben benutzt wurden, das Komma aber, seine gewöhnliche Bedeutung bei der Anführung von Decimalbrüchen behalten hat.

Möge mein inniger Wunsch, auch mit dieser neuen Auflage einigen Nutzen zu stiften, nicht unerfüllt bleiben, und möge sie in den Kreisen, für welche sie vornehmlich geschrieben und mit erforderlichem Fleiß ausgearbeitet worden ist, einer freundlichen und willigen Aufnahme sich zu erfreuen haben!

Frankfurt am Main.

**Dr. Th. Friedleben.**

---

# Vorwort zur dritten Auflage.

Wie die zweite (dem Hohen Senate der freien Stadt Frankfurt zugeeignete) Auflage gegen die erste, hat auch jetzt wieder die gegenwärtige dritte Auflage in Form und Inhalt eine fast gänzliche Umarbeitung erfahren müssen und ist, soweit der Umfang des Werks und dessen mäßiger Preis es zuließen, durch viele Verbesserungen und wichtige Zusätze möglichst bereichert worden. Daß die Steintafeln der zweiten Auflage bei der gegenwärtigen durch eingedruckte Holzschnitte ersetzt wurden, hat jedenfalls dem Gebrauch des Werks eine angenehmere Bequemlichkeit ertheilt, obgleich die Holzschnitte selbst hie und da noch einiges zu wünschen übrig ließen. Möge meine Hoffnung, daß auch diese Auflage, deren Erscheinen durch die vorherrschend ungünstigen Zeitverhältnisse sich ungemein verspätet hat, abermals zu einer freundlichen Aufnahme sich zu empfehlen im Stande sei, thatsächlich sich verwirklichen!

Frankfurt am Main, im Juni 1849.

**Dr. Th. Friedleben.**

Digitized by Google

# Inhalt.

Von den im Inhalts-Verzeichniß vorkommenden Zahlen bezeichnen die linker Hand stehenden den §., die rechter Hand die Seite.


Seite

**Einleitung** . . . . . 1

**Erstes Kapitel.** Phänomene und deren Erklärung . . 4

1. Phänomene 4. — 2. Wahrnehmung der Phänomene 4. — 3. Naturgesetze 4. — Erklärung der Phänomene 5. — 5. Beobachtung und Versuche 5.

**Zweites Kapitel.** Materie, allgemeine Eigenschaften und Kräfte . . . . . 7

6. Bildung und Wahrnehmung der Materie 7. — 7. Allgemeine Eigenschaften 7. — 8. Ausdehnung 7. — 9. Undurchdringlichkeit 8. — 10. Besondere oder relative Eigenschaften 9. — 11. I. Porosität 9. — 12. Dichtigkeitsverhältnisse 11. — 13. II. Theilbarkeit 12. — 14. III. Bewegbarkeit 13. — 15. IV. Trägheit 14. — 16. Kräfte 17. — 17. Verschiedene Attractionen 18. — 18. I. Cohäsion 18. — 19. Feste und flüssige Körper 19. — 20. Wesentliche Verschiedenheit der flüssigen Körper 19. — 21. Aggregatzustände 19. — 22. Ursache der Aggregatzustände 20. — 23. Krystallisation 20. — 24. Cohäsionsverhältniß fester Körper 22. — 25. Modificationen der Cohäsion 26. — 26. Elastizität 28. — 27. II. Adhäsion 32. — 28. III. Affinität 38. — Capillarität 40. — 29. Haarröhrchen-Verhältnisse 44. — Anhang. Chemische Anziehung 45.

**Drittes Kapitel.** Bewegung . . . . . 49

30. Absolute und relative Bewegung 49. — 31. Gegenstände der Bewegungsgesetze 50. — 32. Geschwindigkeit 52. — 33. Allgemeine Ausdrücke der Geschwindigkeitsgesetze 55. — 34. Maß bewegender Kräfte 56. — 35. Winkelgeschwindigkeit 56. — 36. Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung 57. — 37. Einfache und zusammengesetzte Bewegung 58. — 38. Zerlegung der Kräfte 63. — 39. Einiges zur Erläuterung 64. — 40. Trigonometrische Formeln 67. — 41. Centralbewegung 70.

**Viertes Kapitel.** Gravitation . . . . . 74

42. Allgemeine Bemerkungen 74. — 43. Erdschwere 75. — 44. Wechselseitige Anziehung 76. — 45. Verhältniß zwischen Anziehung und Masse 76. — 46. Richtung der Schwerkraft 78. — 47. Fallräume 78. — 48. Fallgeschwindigkeit 82. — 49. Allgemeine Bestimmung der Fallräume 84. — 50. Atwood's Fallmaschine 87. — 51. Freier Fall zum


Digitized by Google

Seite

Mittelpunkt der Erde 88. — 52. Gleiche Schwere aller Körper 88. — 53. Schwere und Gewicht 89. — 54. Abnahme der Schwere 89. — 55. Irrige Vorstellungen 90. — 56. Gestalt der Erde 91. — 57. Bewegung des Mondes um die Erde 92. — 58. Allgemeine Schwere 93. — 59. Gravitationssystem 94. — 60. Oestliche Abweichung frei fallender Körper 98. — 61. Wurfbewegung 99. — 62. Schiefe Ebene 101. — 63. Pendel 104. — 64. Geschwindigkeit gleichförmig beschleunigter Bewegung 111.

**Fünftes Kapitel.** Stoß . . . . . 116

65. Begriff 116. — 66. Bedingungen 116. — 67. Gerader und centraler Stoß unelastischer Körper 116. — 68. Gerader und centraler Stoß elastischer Körper 120. — Anhang 123. — 69. Stoßmaschinen 126. — 70. Arithmetische Auseinandersetzung 128. — 71. Excentrischer und schiefer Stoß 129. — 72. Stoß weicher Körper 130. — 73. Stoß auf unbewegliche Flächen 130. — 74. Stoß flüssiger Körper 132.

**Sechstes Kapitel.** Gleichgewicht fester Körper . . 132

75. Schwerpunkt 132. — 76. Erläuternde Nachweisungen 135. — 77. Hebel 138. — 78. Zweiarmiger Hebel 139. — 79. Physischer Hebel 141. 80. Einarmiger Hebel 141. — 81. Anwendungen 142. — 82. Allgemeine Darstellung der Hebelgesetze 142. — 83. Winkelhebel 145. — 84. Wage 146. — 85. Radwelle 148. — 86. Rolle 149. — 87. Traghebel 151. — 88. Keil und Schraube 151.

**Siebentes Kapitel.** Hindernisse der Bewegung . . 153

89. Widerstand des Mittels 153. — 90. Reibung 154.

**Achtes Kapitel.** Gleichgewicht und Bewegung tropfbar flüssiger Körper . . . . . 155

91. Tropfen 155. — 92. Dichtigkeit und Preßbarkeit 157. — 93. Gleichgewicht 157. — 94. Druck 161. — 95. Bewegung 168. — I. Bewegung des Wassers aus Behältern 168. — II. Wellenbewegung 171. — III. Bewegung fließender Wasser 173.

**Neuntes Kapitel.** Specifisches Gewicht . . . 174

96. Erklärung 174. — 97. Bestimmung der specifischen Gewichte 175. — 98. Correctionen 181. — 99. Aräometer 182. — 100. Elementarwelt 184. — 101. Schwimmen 185. — 102. Allgemeine Darstellungen 187. 103. Archimedisches Problem 189. — 104. Dichtigkeit der Erde 191.

**Zehntes Kapitel.** Gleichgewicht und Bewegung der Luft und der Luftarten . . . . . 191

105. Atmosphärische Luft 191. — 106. Chemische Eigenschaften der atmosphärischen Luft 192. — 107. Mechanische Eigenschaften der atmosphärischen Luft 193. — 108. Größe des Luftdrucks 197. — 109. Compensation dieses Druckes 198. — 110. Barometer 198. — 111. Erfordernisse guter Barometer 202. — 112. Correctionen 203. — 113. Einige ältere Barometerarten 204. — 114. Regelmäßige Oscillationen des Barometers 205. — 115. Mittler Barometerstand 206. — 116. Wetterglas 207. —

Digitized by Google

Seite

117. Manometer 208. — 118. Mariottisches Gesetz 210. — 119. Folgen dieses Gesetzes 214. — 120. Luftpumpe 215. — 121. Apparate zur Luftpumpe 217. — 122. Phänomene 218. — Versuche mit der Luftpumpe 225. — 123. Luftverdichtung 229. — 124. Grad der Verdünnung der Luft durch die Luftpumpe 231. — 125. Barometrische Messungen 232. — 126. Specifisches und absolutes Gewicht der Luft 239. — 127. Barometrischer Coefficient 242. — 128. Höhe der Atmosphäre 243. 129. Pneumatik 244. — 130. Zerlegung der atmosphärischen Luft 245. — 131. Athmen 247. — 132. Sauerstoffquellen 247. — 133. Gasarten 249. — 134. Eudiometrie 258. — 135. Specifisches Gewicht der Gasarten 259. — 136. Specifische Expansivkraft der Luftarten 259. — 137. Luftballon 260.

**Eilftes Kapitel.** Schall . . . . . 265

138. Akustische Gegenstände 265. — 139. Schallende Körper 265. — 140. Schwingungsarten 267. — 141. Schwingungsknoten 268. — 142. Schwingungsgesetze 270. — 143. Tonverhältnisse 273. — 144. Allgemeine Darstellung der Schwingungsverhältnisse 279. — 145. Temperatur 282. — 146. Die menschliche Stimme 283. — 147. Fortpflanzung des Schalles 284. — 148. Echo 290. — 149. Hörinstrumente 292. — 150. Wahrnehmung des Schalles 292. — 151. Bauchredner 293.

**Zwölftes Kapitel.** Wärme . . . . . 294

152. Imponderabilien; Incoercibilien 294. — 153. Hypothetische Grundursache der Wärme 295. — 154. Temperatur 297. — 155. Ausdehnende Kraft der Wärme 297. — I. Ausdehnung fester Körper 300. — II. Ausdehnung tropfbarer Körper 303. — III. Ausdehnung expansibler Flüssigkeiten 304. — 156. Versuche 305. — 157. Thermometer 307. — 158. Erfordernisse genauer Thermometer 313. — 159. Luftthermometer 316. — 160. Metallthermometer 318. — 161. Pyrometer 319. — 162. Nutzen der Wärmemesser 320. — 163. Wärmeerregung 322. — 164. Mittheilung der Wärme 330. — 165. Wärmeleiter 331. — 166. Anwendungen 333. — 167. Einfluß der Farbe 334. — 168. Strömungen 334. 169. Strahlende Wärme 336. — 170. Specifische Wärme 338. — 171. Verschiedene Bestimmungsmethoden 341. — 172. Allgemeine Formeln 344. — 173. Relative Wärme 347. — 174. Capacitätsänderungen 348. 175. Erläuternde Phänomene 349. — 176. Schmelzen 355. — 177. Verdunstung 356. — 178. Sieden 357. — 179. Graduirung übereinstimmender Thermometer 360. — 180. Wärme und Expansivkraft des Dampfes 362. — 181. Dampfbarometer 364. — 182. Dichtigkeit des Dampfes 366. — 183. Condensation der Dämpfe 369. — 184. Destillirkunst 370. — 185. Dampfmaschine 370. — 186. Hygrometer 374.

**Dreizehntes Kapitel.** Licht . . . . . 379

187. Natur des Lichts 379. — 188. Eigenes und geborgtes Licht 382. — 189. Lichtbewegungen 383. — 190. Geschwindigkeit des Lichts 384. — 191. Strahlenkörper 386. — 192. Abnahme der Lichtstärke 387. — 193. Schatten 389. — 194. Sehen 393. — 195. Parallaxe; Sehewinkel 399. — 196. Optische Täuschungen 402. — 197. Zurückwerfung des

Digitized by Google

Seite

Lichts 407. — 198. Ebene Spiegel 412. — 199. Hohlspiegel 416. — 200. Erhabene Spiegel 424. — 201. Cylinder und Kegelspiegel 426. — 202. Katoptrische Gleichung 426. — 203. Brechung des Lichts 429. — 204. Brechungsvermögen 431. — 205. Brechungsverhältniß 432. — 206. Brechungsgränze 434. — 207. Folgen der Strahlenbrechung 435. — 208. Geschliffene Gläser 437. — 209. Converlinsen 441. — 210. Concavlinsen 442. — 211. Farben 443. — 212. Bleibende Farben 446. — 213. Complementärfarben 448. — 214. Physiologische Farben 449. — 215. Polarisation des Lichts 449. — 216. Beugung und Interferenz des Lichts 452. — 217. Chemische Wirkungen des Lichts 453. — 218. Optische Werkzeuge 454. — 219. Fixirte Lichtbilder 461. — 220. Daguerre's photographische Versuche 461.

**Vierzehntes Kapitel.** Elektrizität . . . . 467

221. Namensentstehung 467. — 222. Reibungselektrizität 468. — 223. Elektrisirmaschine 469. — 224. Elektrische Leiter 470. — 225. Entgegengesetzte Elektrizitäten 472. — 226. Elektrometer 475. — 227. Elektrizitäts-Theorien 476. — 228. Schlagweite 479. — 229. Vertheilung 480. — 230. Verstärkte Elektrizität 481. — 231. Elektrophor 485. — 232. Condensator 487. — 233. Elektrische Phänomene und Versuche 488. — 234. Contactelektrizität 493. — 235. Galvanische Kette 495. — 236. Galvanische Batterie 497. — 237. Versuche mit der Säule 500. — 238. Trockne Säule 504. — 239. Galvanoplastik 505. — 240. Ursache der galvanischeu Elektrizität 506. — 241. Einige anderweitige elektrische Zustände 507. — 242. Luftelektrizität 508.

**Fünfzehntes Kapitel.** Magnetismus . . . 510

243. Natürlicher Magnet 510. — 244. Magnetische Zustände 510. — 245. Armirter und künstlicher Magnet 512. — 246. Thermo- und Rotations-Magnetismus 515. — 247. Magnetnadel 516. — 248. Magnetismus der Erde 518. — 249. Elektromagnetismus 519. — 250. Magnetoelektrizität 524. — 251. Thierischer Magnetismus 525.

Register . . . . . 526

Digitized by Google

# Einleitung.

(Naturwissenschaft, Naturkunde, Naturlehre.) In allen Sprachen wird das Wort Natur in mannigfacher, von einander sehr verschiedener Bedeutung gebraucht, theils als Gegensatz des Spirituellen, theils auch in allerlei Redensarten, z. B. die Natur bringt Alles hervor; die Natur ist wieder neu belebt; der Hund ist von getreuer Natur; der Natur Gewalt anthun; das ist meiner Natur zuwider u. dergl. m. In der Bedeutung, wo wir mit diesem Worte den Inbegriff alles dessen bezeichnen, was in dem unendlichen Raum der Schöpfung sein Daseyn hat, und von uns, vermittelst unserer Sinnwerkzeuge, wahrgenommen werden kann, wird die Natur mit Recht als der erhabenste, würdigste und wichtigste Gegenstand betrachtet, womit der menschliche Forschungsgeist sich zu beschäftigen und wodurch allein er seine wahre Ausbildung und Vervollkommnung zu erreichen vermag. Gemeinhin nennt man aber auch diesen ganzen Inbegriff die Körperwelt, und jedes einzelne Ding, in so fern es auf unsere Sinne einwirkt, einen Körper, sey es auch nur ein feiner Dunst oder Duft, ein zartes Sonnenstäubchen, oder irgend ein Gegenstand, dessen Wahrnehmung erst durch vorzügliche Vergrößerungsgläser möglich ist.

Will man in der Natur mit Nachdenken sich umsehen, richtige und bewährte Kenntnisse von den Naturkörpern sich verschaffen, und einsehen lernen, wie sie als Werkzeuge und Stoffe zu unserer Nahrung und Bekleidung, als Schutzmittel gegen Gefahren, als Waffen zu unserer Vertheidigung benutzt werden können, wie durch sie unser Leben, Vergnügen und irdisches Wohlseyn erhalten und befördert wird, wie sie überhaupt dazu dienen, uns für alle unsere Bedürfnisse die erforderlichen Befriedigungsmittel darzureichen; will man zu der Einsicht gelangen, wie die Macht des menschlichen Geistes groß genug ist, die Gesetze, denen die Naturkörper in der unzähligen Menge ihrer Erscheinungen untergeordnet sind, zu ergründen und systematisch zu bestimmen; will man den geheiligten Tempel betreten, wo die Vernunft über das zügellose Heer des Aberglaubens, Wahns und Irrthums die glänzendsten Triumphe feiert; will man zu der nie versiegenden Quelle der wahren Erkenntniß eines gütigen, weisen und allmächtigen Schöpfers und Urhebers aller vorhandenen Dinge gelangen, sein ewiges, nie zu ergründendes Walten inne werden: das stets offene Buch der Natur ist es, in dem wir mit Verstand lesen, und aus dem wir lernen müssen, diesen hohen Interessen und Forderungen ein Genüge zu leisten, und die Naturwissenschaft ist es, welche uns in dieses Heiligthum einführt, unser Herz erhebt, in die Unermeßlichkeit uns geleitet, einen Gott kennen lehrt, der nicht endlich, sondern unendlich ist, und indem wir dieser erhabenen Wissenschaft all dieses Herrliche verdanken, ist sie es zugleich, die bescheidene Demuth uns lehrt.



Digitized by Google

Der große Umfang der Naturwissenschaft, der nirgends abgeschlossen, gegenwärtig vielmehr nach allen Seiten hin immer weiter sich erstreckt, umschließt ein viel zu reiches Gebiet, als daß auch der ausgezeichnetste Scharfsinn hinreichen könnte, dessen einzelne Theile in ihrem innern Zusammenhange und in ihren steten Wechselwirkungen mit gleicher Vollkommenheit und ganz zu erkennen. Nur dadurch, daß wir die Werke der Natur als einzelne Fächer für gesonderte Wissenschaften betrachten, wird es möglich, den reichhaltigen Inhalt einer oder einiger derselben genauer kennen zu lernen, und so weit es angeht, sich zu eigen zu machen. Daher wir denn auch unsere Wanderungen durch die gesammte Naturwissenschaft zunächst in zwei Richtungen gespalten uns denken, um entweder auf der einen das historische, oder auf der andern das philosophische Gebiet derselben beliebig und vorzugsweise betreten, und in Harmonie und Einheit verfolgen zu können. Jene, die historische Klasse beschreibt, in systematischer Anordnung, die äußeren Kennzeichen und Beschaffenheiten der Naturkörper, und wird, in so fern sie sich ausschließend auf solche Naturgegenstände bezieht, deren Heimath auf und in der Erde sich findet, indem sie zunächst den Ort, wo sie entstehen, die Art, wie sie wachsen und vergehen, anzugeben sucht, die Naturgeschichte, oder Naturbeschreibung genannt, die aber selbst wieder drei sehr reichhaltige Theile hat, nach den so genannten drei Reichen der Natur (Zoologie, Botanik und Mineralogie).

Noch viel weiter erstreckt sich die andere, die philosophische Klasse der Naturwissenschaft. Wie viel auch diese Klasse einzelne Zweige hat, so herrscht doch in allen die Untersuchung vor, außer der Ergründung des Ursprungs der Naturwesen, den wir aber im Grunde nicht zu erforschen vermögen, die Veränderungen kennen zu lernen, die mit ihnen vorgehen, und die Ursachen und die Gesetze nachzuweisen, durch welche diese Veränderungen bedingt sind, und herbeigeführt werden. Für die organischen Naturkörper sucht die Physiologie, in Verbindung anderer mit ihr verwandten Wissenschaften, diese Aufgabe zu lösen, und für die unorganischen oder anorganischen Körper, zu welchen hier auch die organischen Körper gehören, deren Leben erloschen ist, und die man, wegen Mangel der Werkzeuge zu ihrer Erhaltung und Fortpflanzung, auch die todte Natur zu nennen pflegt, übernimmt die Naturkunde dieses Geschäft, und hat drei Hauptfächer:

I. Die Astronomie. Diese beschäftiget sich mit den Bewegungen, Beschaffenheiten und Verhältnissen der Himmelskörper.

II. Die Physik oder Naturlehre. Diese forscht nach den Ursachen, durch welche, und nach den Gesetzen, nach welchen die äußern Zustände der Naturwesen, vermöge der ihnen zukommenden Eigenschaften, verändert werden.

III. Die Chemie. Diese belehrt uns über die einfachen Bestandtheile der Naturkörper, über ihre innige und wechselseitige Verbindung, so wie über die Gesetze jener Veränderungen, die auf den innern Zustand dieser Körper sich beziehen.

Diese Wissenschaften sind jedoch in so enger Berührung und haben einen so unverkennbaren innern Zusammenhang, daß eine scharfe Abgränzung der einen von der andern weder möglich, noch thunlich, es vielmehr nothwendig ist, daß sie sich unterstützen, und hierdurch wechselseitig befördern.

Digitized by Google

Begreiflich müssen alle Fächer der Naturwissenschaft, die der historischen Klasse sich anreihen, auf dem Standpunkt der Erfahrung sich halten. Aber auch die andern Fächer dieser Wissenschaft, die man der philosophischen Klasse überweiset, wurzeln allein nur in der Erfahrung, und müssen diese zum Leitstern haben, wenn es uns in den Untersuchungen über die Naturkräfte und die Naturgesetze nicht um eiteln Wortkram, um dunkle mystische Speculationen, sondern um ernstliche Belehrung, die dem Geist seine rechte Weihe gibt, die bürgerlichen Verhältnisse ordnen hilft, und der Industrie ihre raschen und riesenmäßigen Fortschritte sichert, zu thun ist. Von den Weltweisen Griechenlands an bis auf uns sind in der That auch die scharfsinnigsten Ideen über die Werke der Natur ohne reelle Ausbeute für die Wissenschaft und ihre Anwendung auf das Lebeu geblieben, so wie die Meditationen der Natur Theorien anzudichten suchten, die abseits der Erfahrung lagen.

Jahrtausende lang verblieben auch diese erhabenen Wissenschaften in ihrer Kindheit, und selbst die Völker, die der Astronomie eine gebührende Huldigung brachten, verstanden es doch nicht, auch das Feld für Physik und Chemie gleichmäßig anzubauen. Die denkwürdige Epoche, wo ein mächtiger Geist die Wissenschaften über die Werke der Natur zu einem fröhlichen Leben erstehen ließ, fällt mit der Zeit zusammen, wo Gutenberg, durch die wichtigste aller Erfindungen, den Wissenschaften einen neuen Genius erweckte, unter dessen Aegide sie gegen Entartung, Stillstand und Verfall hinlänglichen Schutz gefunden haben. Seit dieser Zeit haben auch alle Theile der Naturwissenschaft, durch eine große Reihe ruhmgekrönter Namen, sich allmählig zu jener Höhe emporgeschwungen, auf der sie gegenwärtig stehen, und die in frühern Zeiten auch die kühnste Erwartung nicht einmal ahnen konnte. Das aber, was den Baum unserer physikalischen Erkenntnisse forttrieb zu einem so üppigen und bewundernswürdigen Wuchs, haben wir dem Bestreben zu verdanken, die Naturgesetze auf Thatsachen zu gründen, die theils in richtig angestellten und bewährten Beobachtungen bestehen, theils aus Versuchen (Experimenten) hervorgehen, die man mit den Naturwesen vermittelst tauglicher Werkzeuge (Apparate) anstellen lernte. Hieraus entstand der Theil der Naturkunde, den man die Experimental-Physik nennt.



Digitized by Google

# Erstes Kapitel.

## Phänomene und deren Erklärung.

§ 1. (Phänomene). Der Erfahrung gemäß gehen mit den Naturwesen, gleichviel, ob sie organisch oder unorganisch sind, stete Veränderungen vor, Veränderungen des Orts und der Lage, und Veränderungen, die einen Körper in einen ganz andern Zustand versetzen, z. B. Wasser, als Wasser, als Dampf und als Eis. Diese Veränderungen, welche wir durch unsere Sinne wahrnehmen und durch welche wir die Wirkungen der Natur erkennen, werden Phänomene, Naturerscheinungen, Naturbegebenheiten genannt.

§ 2. (Wahrnehmung der Phänomene.) Die Phänomene können auf eine doppelte Weise wahrgenommen werden, entweder durch Beobachtungen, wo wir auf die Phänomene achten, die in der Natur ohne unser Zuthun sich ereignen, z. B. Regen, Gewitter, Erdbeben, Bewegung der Himmelskörper u. s. w., oder durch Versuche, wodurch wir Phänomene herbeiführen, die sich sonst unter einander nicht zugetragen haben würden, z. B. die Zerlegung der Luft und des Wassers, die Wirkungen der verdichteten Sonnenstrahlen, die Gewalt der Dämpfe, elektrische und magnetische Erscheinungen u. s. w. Die Wahrnehmung der Phänomene, auf eine oder die andere Weise, bildet aber die einzig wahre Grundlage echter Naturforschung, in so fern man im Stande ist, die Erscheinungen nach Maaß und Gewicht zu bestimmen und zu ordnen, und sie durch Rechnung zu sondern und unter einander zu vergleichen.

§ 3. (Naturgesetze.) Die Erscheinungen, die uns die Natur in den Beobachtungen und Versuchen darbietet, sind indeß nur Wirkungen. Wirkungen setzen aber immer Ursachen voraus, durch welche sie bewirkt werden, und feste unabänderliche Regeln, nach welchen sie in ihrem Erfolg sich richten, wie z. B. die Bewegung der Planeten, der Fall ununterstützter Körper, die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, die Zurückwerfung der Lichtstrahlen, das Farbenspiel, die Krystallisation u. s. w. Die Bestimmungen des Erfolgs der Phänomene unter Umständen, die sich gleich, oder in gewissen Beziehungen von einander verschieden sind, aber dieselben Ursachen haben, nennt man Naturgesetze.

So beobachten wir, daß jeder Körper, der nicht unterstützt ist, zur Erde fällt. Wir sehen aber auch, daß auf diesen Fall die Gestalt und die Größe des Körpers, der Stoff, aus dem er besteht, die Höhe, von welcher er herabkommt, einen merklichen Einfluß hat. Wir beobachten auch, daß sein Fall sich ändert, wenn er gestoßen oder geworfen wird, oder auf einer schiefen Ebene hinabgleitet, und daß die Geschwindigkeit, mit welcher er fällt, Widerstand findet. Aus allen diesen und andern mit dem Fall der Körper verknüpften Umständen leiten wir denn, sobald einmal alle dazu gehörigen Beobachtungen und Versuche genau ermittelt und festgestellt sind, das Gesetz ab, wie überhaupt irgend ein Körper unter gegebenen Umständen fallen muß.

Digitized by Google

§ 4. (Erklärung der Phänomene.) Die Phänomene auf ihre wirkenden Ursachen und auf feststehende Naturgesetze zurückzuführen, und nachzuweisen, wodurch und wie sie entstehen, ist die eigentliche Aufgabe des Physikers, und in so fern es ihm gelingt, diese Aufgabe vollständig aufzulösen, ist er auch im Stande, die Phänomene vollkommen zu erklären, die Nothwendigkeit derselben mit völliger Bestimmtheit zu zergliedern und klar aus einander zu setzen.

Diese Erklärungsart der Phänomene, obgleich sie allein nur wahrhaft richtig seyn kann, ist jedoch dem Menschen unzugänglich, weil es ihm nicht vergönnt ist, die letzten Ursachen der Phänomene zu erforschen und den Schleier hinwegzuheben, unter welchem die Natur ihren innern Haushalt seinen Blicken entzieht. So wenig wir im Stande sind, die wunderbare Verknüpfung zwischen Seele und Körper zu begreifen, so wenig vermögen wir die Gränzen zu überschreiten, die zwischen Phänomenen und deren Grundursachen gezogen sind, und überall, wo von solchen Ursachen die Rede ist, sind es nur willkürliche Vorstellungen, Annahmen und Vermuthungen, die wir uns davon machen, Hypothesen, die nicht weiter bewiesen werden können, sondern vorerst nur als möglich vorausgesetzt werden. Gelingt es uns, von den Geheimnissen der Natur so viel zu erforschen, daß wir aus den nächsten Ursachen der Phänomene, in so weit sie sinnlich wahrzunehmen sind, die Naturgesetze ableiten können, denen sie gehorchen, so müssen wir uns dabei begnügen, und das Ziel, die Phänomene zu erklären, für erreicht erachten. Jedermann weiß, daß im Barometerrohr eine Queckfilbersäule aufrecht steht. Erklärt wird dieses durch den Druck der Luft, dessen Gesetz wir kennen. Forschen wir aber nach der Ursache dieses Druckes selbst, was doch auch zu der Erklärung dieses Phänomens erforderlich ist, so suchen wir diese letzte Ursache in einer Anziehung, der alle irdische Körper Folge leisten, sind aber nicht vermögend, die Schranken zu durchbrechen, die uns abhalten, das Wesen dieser Kraft selbst zu erforschen. Darum müssen wir uns bescheiden, und in den Zuruf: „Laßt uns gleich bei unserm Eintritt in das Gebiet der Naturkunde die Ueberzeugung festhalten, daß wir nicht Alles zu erklären vermögen," mit einstimmen. Es ist leicht erklärlich, daß die Naturforscher in der Annahme hypothetischer Ursachen oft sehr von einander abweichen, und daß für eine und dieselbe Naturerscheinung, über deren Ursache man keine Gewißheit hat, mehrere Hypothesen aufgestellt werden können. In diesem Falle huldigt man allemal der Hypothese am liebsten, welche eine Erscheinung auf die einfachste Weise zu erklären vermag, oder gar ausreichend ist, einer großen Reihe von Thatsachen zur Erklärung zu dienen. Noch mehr geht aber eine Hypothese in das Gebiet der Gewißheit über, wenn es möglich ist, sie der Rechnung zu unterwerfen und nachzuweisen, daß ihre Resultate im Einklang sind mit der Erfahrung, oder daß keine andere einer bestimmten Thatsache zu entsprechen tauglich ist. Viele Annahmen, die zuerst nur als hypothetische Ursachen Geltung hatten, haben mit der Zeit, im Verfolg der Wissenschaft, sich als bestimmte und wahre Naturgesetze bewährt, z. B. die tägliche Umwälzung der Erde um ihre Achse und deren jährlicher Umlauf um die Sonne.

§ 5. (Beobachtungen und Versuche.) Alles beruhet indessen zunächst auf Beobachtungen und Versuchen, da sie es sind, die uns zur Kenntniß der Natur führen. Die Kunst aber, richtig und genau zu experimentiren und zu beobachten, hat mehr Schwierigkeiten, als man beim ersten Anblick ver-

Digitized by Google

muthet. Nicht nur muß ein guter Experimentator und Beobachter scharfe Sinne haben, sondern er muß auch unbefangen und frei seyn von Vorurtheilen und vorgefaßten Meinungen, die den Geist beschränken, damit seine Phantasie ihn nicht verleite, Dinge zu sehen, die nicht vorhanden sind, oder das Augenfällige abzuleugnen, weil er es nicht zu begreifen im Stande ist. Zu diesen wesentlichen Eigenschaften eines guten Beobachters müssen sich aber noch zugesellen: Behutsamkeit, Geduld, Ausdauer und kritische Beachtung aller Haupt- und Nebenumstände, die zur richtigen Auffassung einer Beobachtung gehören, in so fern sie einem Naturgesetz zur haltbaren Grundlage dienen soll. Wie jedes Menschenwerk, sind daher auch unsere Versuche und Beobachtungen, was sie auch betreffen mögen, Fehlern unterworfen, die theils in der Beschränktheit unseres Geistes und in der Unvollkommenheit unserer Sinne ihren Grund haben, theils aber auch auf Rechnung der Werkzeuge kommen, deren wir uns zu unsern Versuchen und zu vielen Beobachtungen bedienen, und die, wie vortrefflich sie auch gearbeitet seyn mögen, doch immer noch Unvollkommenheiten behalten, und selbst durch Wechsel in der Witterung und Temperatur einflußreiche Veränderungen erleiden können.

Unter diesen Umständen, welche keine Beobachtungen von absoluter Schärfe zulassen, ist es durchaus nöthig, die unvermeidlichen Fehler, so weit es angeht, nicht außer Acht zu lassen, und den Grad zu bestimmen, bis wohin die Resultate als völlig genau gelten können. Berühmte Mathematiker haben sich mit diesem Gegenstand beschäftiget und sinnreiche Rechnungsmethoden dafür gefunden. Da aber diese zu schwierig und verwickelt sind, so mögen folgende Bemerkungen genügen, die bis zu einem gewissen Grad genaue Resultate geben können.

1) Muß man jede Beobachtung und jeden Versuch oftmals wiederholen, theils unter denselben Umständen, so weit dieses angeht, theils unter abgeänderten Umständen, die Resultate genau ins Auge fassen und mit einander vergleichen.

2) Wenn es zur allgemeinen Verständlichkeit des Phänomens beiträgt, so sucht man den unter verschiedenen Umständen gemachten Beobachtungen und Versuchen eine gewisse Gleichmäßigkeit zu ertheilen, sie zu reduciren. So pflegt man verschiedene Barometer-Beobachtungen auf einen bestimmten Normalstand, etwa auf 28 Zolle, und auf einen gewissen Wärmegrad, etwa auf den Gefrierpunkt des Wassers, zurückzuführen.

3) Diejenigen Resultate sind immer für die richtigern anzunehmen, die unter gleichen Umständen am besten übereinstimmen, und von den einzelnen Resultaten können die dafür gelten, die der Gesammtheit am nächsten kommen.

4) Für Resultate, die in Zahlen anzugeben sind, bei welchen bald etwas mehr, bald etwas weniger zum Vorschein kommt, läßt sich mit großer Wahrscheinlichkeit vermuthen, daß die Wahrheit in der Mitte liege. In diesem Falle sucht man das arithmetische Mittel aller Resultate. Man findet dieses dadurch, daß man alle einzelne Beobachtungen addirt, und die Summe durch die Anzahl der Beobachtungen dividirt.

Digitized by Google

# Zweites Kapitel.

## Materie, allgemeine Eigenschaften und Kräfte.

§ 6. (Bildung und Wahrnehmung der Materie.) Wir werden der Naturwesen durch unsere Sinne uns bewußt, von denen jedes einen besondern Eindruck auf dieselben macht. Woraus bestehen sie, wie werden sie gebildet, und wie gelangen wir zu dem Bewußtseyn ihres Daseyns? Mit Recht sollte das physikalische Studium der Natur von diesen Fragen ausgehen; denn aus der zuverlässigen Beantwortung derselben würden uns höchst wichtige Aufschlüsse zur Erklärung vieler Erscheinungen in der Körperwelt zufließen, wenn es dem erschaffenen Geiste überhaupt vergönnt wäre, den Schleier zu lüften, der noch immer diese unauflöslichen Räthsel deckt, und die unüberwindlichen Schwierigkeiten hinweg zu räumen, welche den angestrengtesten Bemühungen aller Naturphilosophen bei der Lösung dieser interessanten Fragen stets sich entgegengestellt haben. Weder über das, was ein Naturwesen an sich ist, noch über dessen Bildung und Existenz, und ob und wie wir es wahrnehmen können, steht die Natur uns Rede, da wir irdisch ganz unfähig sind, hierüber Erfahrungen zu bekommen.

Der Physiker, der nur dieser Führerin folgen kann und dessen ganzes Gebäude auf Wahrnehmungen beruhet, die gemessen, gewogen und berechnet werden können, tritt daher die Untersuchung dieser Fragen den rein speculativen Wissenschaften ab, sich damit begnügend, nur die Wirkungen der Naturwesen kennen zu lernen, und die Gesetze zu erforschen, nach welchen diese Wirkungen erfolgen.

§ 7. (Allgemeine Eigenschaften.) Zu dieser Erkenntniß führt uns nur die Wahrnehmung der Eigenschaften eines Naturwesens, mag man sich dieses aus Atomen entstanden denken, d. h. aus so einfachen materiellen Urtheilchen, die durchaus nicht weiter theilbar gedacht werden können, und die man auch, als unendlich kleine Massentheilchen Molekül zu nennen pflegt, oder dynamisch, d. h. aus der Wirkung zweier Kräfte, einer anziehenden (Zieh- oder Attractionskraft) und einer abstoßenden Kraft (Repulsiv-, Expansiv- oder Dehnkraft).

Nur von diesen Eigenschaften, die natürlich bei der unendlichen Menge von Gegenständen höchst mannigfaltig sind, hängen die Wirkungen ab, die sie unter gleichen Umständen äußern, und woran wir sie zu erkennen vermögen. Wir sehen z. B., daß derselbe Stoß anders wirkt, wenn er auf Glas, auf Stein oder auf Wasser u. s. w. geführt wird, und daß dieses von den verschiedenen Eigenschaften herrührt, die diese Dinge haben.

Es gibt aber Eigenschaften, die allen Körpern zukommen, und die so wesentliche Kennzeichen der Materie sind, daß wir sie ohne diese Eigenschaften gar nicht zu denken vermögen; sie heißen Ausdehnung und Undurchdringlichkeit, und werden absolute allgemeine Eigenschaften genannt.

§ 8. (Ausdehnung.) Jeder physische Körper muß irgendwo vorhanden seyn, einen Raum einnehmen, der sich nach den drei Abmessungen, Länge, Breite und Dicke oder Höhe, bestimmen läßt. Diese, von der Vorstellung des Körperlichen unzertrennliche Eigenschaft nennt man die Ausdehnung. Hierin besteht die Größe eines Körpers, der immer um so größer wird,

Digitized by Google

je beträchtlicher diese Abmessungen sich ergeben. Es muß aber auch der Raum, den ein Körper einnimmt, von allen Seiten begränzt und in sich abgeschlossen seyn. Von diesen Gränzen hängt die Gestalt oder Form des Körpers ab. Viele Körper haben eine so kleine Ausdehnung, daß wir sie weder betasten, noch mit bloßen Augen deutlich sehen können, und bei manchen reichen selbst die besten Vergrößerungsgläser nicht dazu hin, und doch haben sie Größe und Form. Nicht nur die kunstverständige Hand des Menschen bringt solche Körperchen zu Wege, z. B. metallne Wägelchen, die ein Floh fortzieht, sondern auch die Natur, und diese in noch weit höherm Grade, stellt uns in ihren drei Reichen solche Körperchen auf, wie z. B. der feinste Blumenduft, die kleinsten Schneeflöckchen und andere sehr kleine Krystalle, zarte Spinnfädchen, die Infusionsthierchen, deren Welt ein Wassertropfen ist. Wenn man nämlich Wasser auf thierische oder vegetabilische Substanzen gießt, z. B. auf Thymian, Pfeffer u. s. w., so entdeckt man, mittelst guter Vergrößerungsgläser, in der schleimigen Haut, die sich nach einigen Tagen in einer mäßigen Wärme in einem solchen Aufguß bildet, diese wunderbaren Thierchen, von denen man bereits mehrere Geschlechter und hunderte von Arten kennen gelernt hat, und die so klein sind, daß tausend derselben auf dem Durchmesser eines Sandkörnchens neben einander Platz finden, die also körperlich tausend millionenmal kleiner als das Sandkörnchen sind. Wie klein ist nun erst die Ausdehnung ihrer einzelnen Organe! Solche sehr kleine Ausdehnungen sind überhaupt schwer zu messen. Um die Dicke eines sehr dünnen Blättchens, z. B. eines Goldblättchens, zu bestimmen, legt man mehrere tausende so dicht wie möglich auf einander, und mißt deren Höhe mit dem Zirkel; beträgt diese Höhe einen Zoll, und waren es 6000 Blättchen, so ist die Dicke eines derselben $= {}^1/_{6000}$ Zoll. Für die Dicke eines zarten Fädchens, z. B. eines Coconfadens, umwickelt man eine große Anzahl derselben dicht neben einander; betragen diese, was man ebenfalls mit dem Zirkel mißt, einen Zoll, und waren es in Allem 2000 Fäden, so ist die Dicke eines Fadens $= {}^1/_{2000}$ Zoll.

§ 9. (Undurchdringlichkeit.) Zu dem Wesen eines Körpers gehört aber auch noch die Eigenschaft, daß der Raum, den irgend ein Körper inne hat, nicht zugleich auch von noch einem anderen Körper eingenommen werden kann. Es muß der eine Körper seinen Raum verlassen, oder aus ihm verdrängt, oder in einen engern Raum zusammengedrückt werden, wenn ein anderer darin Platz nehmen soll. Diese Eigenschaft nennt man die Undurchdringlichkeit, die Impenetrabilität, und sie ist so augenfällig, daß sie bei allen Körpern, die man betasten kann, sogleich erkannt wird. An dem Orte, wo ich stehe, kann nicht noch ein Anderer zugleich auch stehen; wenn ein Nagel in Holz eingeschlagen wird, muß das Holz verdrängt werden; wenn eine Kiste voll ist, so muß man die Dinge darin zusammendrücken, um noch mehr hineinbringen zu können, oder sie weichen, wie Wasser, aus, wenn sie nicht zusammendrückbar sind. Daher auch das Wasser in einem Flusse plötzlich steigt, wenn der Eisgang sich stauet. Auch die Luft ist undurchdringlich, wie man schon daran sieht, daß von einer Flasche, in deren Hals ein Trichter so fest sitzt, daß die Luft nicht zwischen dem Hals und der Trichterröhre einen Ausweg findet, nur ein kleiner Theil gefüllt werden kann, so weit sie nämlich von dem Wasser verdrängt und zusammengedrückt wird. Eben so dringt auch kein Wasser in ein leeres Glas, wenn man es so auf die Wasserfläche setzt, daß die Luft im Glase nicht entweichen kann.

Digitized by Google

Es gibt aber auch Erscheinungen, wo die Eigenschaft der Undurchdringlichkeit sehr hypothetisch wird, z. B. die Wirkungen des Lichts, der Elektrizität u. s. w. Dieses ist aber nur eine Folge unserer Unkenntniß der Materie überhaupt, und glücklicherweise hängen bei diesen Gegenständen unsere physischen Erkenntnisse nicht von der Ermittelung ihres materiellen Zustandes ab.

§ 10. (Besondere oder relative Eigenschaften.) Außer diesen beiden Eigenschaften, die für einen jeden materiellen Körper wesentlich sind, haben die Körper noch vielerlei andere Eigenschaften, die man besondere, zufällige oder relative Eigenschaften nennt. Diese Eigenschaften sind zwar nicht nothwendig mit dem Begriff eines Körpers verbunden, wie z. B. die Eigenschaft, daß jeder Körper wägbar (ponderabel) sey, da Licht, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, wenn sie überhaupt Materialität besitzen, unwägbar (imponderabel) zu seyn scheinen; dennoch finden sich solche Eigenschaften darunter, die ebenfalls als allgemeine betrachtet werden, als: Porosität, Theilbarkeit, Beweglichkeit und Trägheit.

§ 11. (1. Porosität.) Erfüllt ein Körper den Raum, den er einnimmt, so, daß immer ein materielles Theilchen an das andere in ununterbrochener Stetigkeit sich anschließt, so ist dieser Körper vollkommen dicht und undurchdringlich. So weit wir aber bis jetzt die Körper kennen, haben sie alle in den Anhäufungen (Aggregate), aus denen sie bestehen, theils größere, theils kleinere Lücken, die man Zwischenräume oder Poren nennt, in denen nichts von der Materie enthalten ist, aus welcher der Körper bestehet, die aber häufig Luft enthalten. Legt man einen solchen Körper ins Wasser, so verdrängt dieses, in der Gestalt von Luftblasen, die in den Poren enthaltene Luft. Die Größe eines Körpers, die man auch seinen Inbegriff oder sein Volumen nennt, ist daher etwas Anderes, als seine Masse oder Dichtigkeit; zu jenem gehören auch die Poren, diese aber bezieht sich nur allein auf die Menge der materiellen Theile, die in dem Volumen enthalten sind. So kann das Volumen zweier Körper gleich seyn, während ihre Dichtigkeit sehr verschieden ist, z. B. Schwamm und Eisen. Gleichermaßen ist Gestalt und Volumen nicht einerlei. Körper von verschiedenem Volumen können gleiche Gestalt haben, wie z. B. die Planeten, und umgekehrt z. B. ein Cylinder und ein Würfel.

Schwamm, Papier, einige Holzarten, namentlich das spanische Rohr und Korkholz, und viele andere Körper haben Poren, die schon dem bloßen Auge sichtbar sind. Die Menge der Poren ist da gewöhnlich viel größer, als wir sie uns vorstellen. An einem dünnen Korkscheibchen von nur $^1/_{18}$ Zoll Länge hat man in gerader Linie 60 Poren entdeckt, ohne die, die ungesehen geblieben seyn mögen. Hiernach kommen auf die Länge eines Zolls 1080 Poren, auf einen Quadratzoll 1080.1080 und auf einen Kubikzoll fast 1260 Millionen Poren, eine Menge, die von den feinsten Wandungen umschlossen ist, und die man in 340 Jahren nicht zählen kann, wenn man auch täglich deren 10000 zählte, die man aber in einem so kleinen Raum, wie ein Kubikzoll ist, gewiß nicht vermuthet, obschon Kork zu den sehr porösen Körpern gehört. Dessen ungeachtet lassen doch verkorkte Flaschen tropfbare Flüssigkeiten, selbst feine Luftarten, nicht durch, zum Zeichen, daß diese Substanzen so stark unter sich zusammenhängen, daß sie nicht in die Poren des Korks eindringen können.

Die Haut des Menschen und der Thiere ist ebenfalls sehr porös; die

Digitized by Google

des Menschen ist es in so hohem Grade, daß er, selbst im gesunden Zustande, durch die Poren fast die Hälfte der Nahrungsmittel, die er zu sich nimmt, wieder ausdünstet; Einige behaupten sogar noch weit über die Hälfte. Nimmt man die ganze Hautfläche eines erwachsenen Menschen zu 15 Quadratfuß oder 2160 Quadratzolle an, und befinden sich, selbst nach mangelhaften mikroskopischen Bestimmungen, auf der Länge eines Zolls nur 32 Poren, mithin 1024 auf einem Quadratzoll, so sind über die ganze Haut weit über zwei Millionen Poren ausgebreitet. Diese Poren dienen aber nicht nur zum Ausdünsten, sondern auch zur Aufnahme mancher Substanzen, z. B. bei Einreibungen. Auf der Porosität der Thierhäute beruhet auch die von Sömmering vorgeschlagene Methode zur Entwässerung des Branntweins, vermittelst großer Rindsblasen, die man, nachdem sie von ihrem Fette gereiniget sind, mit einer Auflösung von Hausenblase überziehet, und trocken werden läßt. Werden sie dann, etwa bis zu zwei Drittel, mit Branntwein angefüllt und in einem trocknen Raum oder in trockner Luft aufgehängt, so verdunsten durch die Poren der Blasen so viele wässerige Theile, daß das Volumen der Flüssigkeit sich vermindert, und der Branntwein um mehrere Procent gehaltreicher wird.

Eier kann man gegen das Verderben schützen und sie lange erhalten, wenn man sie mit einem Firniß überziehet, wodurch die Poren der äußern Schale verschlossen werden. Beschreibt man einige Blätter weißen Papiers mit in Essig aufgelöf'ter Silberglätte (gelben Bleioxyd) oder mit einer Auflösung von Bleizucker (essigsaures Blei), so sieht man nichts von dieser Schrift; werden aber die beschriebenen Papierstreifen in ein dickes Buch gelegt, in welches man zugleich vorn und hinten, und etwa auch in die Mitte, Blätter von Fließpapier legt, die mit Schwefelleberwasser getränkt sind, so wird, nach etwa 24 Stunden, während welcher Zeit man das Buch fest zugeschnürt gelassen hat, die Schrift sichtbar werden, ohne daß eine Spur in den Blättern des Buches zu sehen ist. Die gasförmige Säure (Hydrothionsäure), welche in dem Buche frei wird, ist hier durch die Poren des Papiers gedrungen, und hat die Schrift wieder hergestellt (die Bleisalze reducirt).

Wasser dringt in Steine, Queckstlber in viele Metalle, stark riechende Substanzen in die Gefäße, worin sie aufbewahrt werden, die Färbestoffe in die gefärbten Körper, Lichtschimmer fällt durch sehr dünne Scheibchen von Elfenbein und Metall, Thüren und Fensterrahmen quellen auf, wenn sie feucht werden, Faßdauben und Bretter krümmen sich, wenn sie auf der einen Seite erwärmt, auf der andern Seite befeuchtet werden, Seile, die naß werden, quellen an und verkürzen sich, Papier, das feucht wird, schlägt Falten, Queckstlber läßt sich durch Leder drücken, und die Wärme dringt durch den Ofen in das Zimmer, was Alles nicht geschehen könnte, wenn die Körper vollkommen dicht und undurchdringlich wären.

Vergrößert man die Dichtigkeit eines Körpers, so erleidet die Menge der Poren eine Abnahme, und somit auch das Volumen des Körpers. Kupfer und Zink zusammengeschmolzen geben Messing, aber das Volumen des Messings ist um $^1/_{10}$ kleiner, als das des Kupfers und des Zinks für sich allein zusammengenommen, und die Mischung ist demnach um $^1/_{10}$ dichter geworden. Wasser und Wein, Wasser und Vitriol nehmen ebenfalls, wenn sie gemischt werden, einen kleinern Raum ein, als beider Räume vor der Mischung zusammen beträgt, und werden also ebenfalls dichter. Denn Körper, die sich mit einander vermischen lassen, füllen

Digitized by Google

wechselseitig, so wie die Mischung vor sich geht, einen Theil ihrer Poren aus.

§ 12. (Dichtigkeitsverhältnisse.) Der Grad der Dichtigkeit ist von Körper zu Körper höchst verschieden, und ein Körper von geringerer Dichte wird gegen einen andern, der dichter ist, locker genannt. So ist z. B. Blei dichter als Eisen und lockerer als Gold. Die Dichtigkeit hängt aber von dem Verhältniß des Volumens zur Masse ab. Je mehr Masse in einem Volumen sich befindet, desto dichter ist der Körper. Hierdurch sind wir im Stande, das Verhältniß der Dichtigkeit zweier Körper auf eine allgemeine Weise zu bestimmen, wobei jedoch vorausgesetzt wird, daß für beide Körper ein gleicher Wärmegrad stattfindet.

Ein Körper A habe ein Volumen = v, eine Masse = m und eine Dichtigkeit = d; ein anderer Körper B habe ein Volumen = w, eine Masse = n und eine Dichtigkeit = e, so ist die Proportion ihrer Dichtigkeit folgende:

$$d : e = \frac{m}{v} : \frac{n}{w}$$

Hieraus ist nun Folgendes klar:

1) Wenn beide Körper gleiches Volumen und gleiche Masse haben, also v = w und m = n, so ist:

$$d : e = 1 : 1$$

d. h. die Dichtigkeit beider ist ebenfalls gleich.

2) Wenn beide Körper nur gleiches Volumen haben, also v = w ist, so ist:

$$d : e = m : n$$

d. h. bei gleichem Volumen verhält sich die Dichtigkeit, wie sich die Massen verhalten.

Ein Stein habe mit einem Holze gleiches Volumen, aber dreimal mehr Masse, so verhält sich die Dichtigkeit dieses Steines zu der des Holzes, wie 3 : 1.

3) Wenn beide Körper nur gleiche Masse haben, also m = n ist, so ist:

$$d : e = w : v$$

d. h. bei gleicher Masse verhält sich die Dichtigkeit umgekehrt, wie sich die Volumen verhalten, so daß der mit dem größern Volumen eine so viel mal geringere Dichtigkeit hat.

Ein Stein habe mit einem Holze gleiche Masse, aber 4 mal weniger Volumen als das Holz, so verhält sich die Dichtigkeit dieses Steines zu der des Holzes, wie 4 : 1, nämlich der Stein ist 4 mal dichter.

4) Sind beide Körper an Volumen und an Masse verschieden, so bleibt die erste Proportion, nämlich:

$$d : e = \frac{m}{v} : \frac{n}{w} = mw : nv$$

d. h. bei ungleichem Volumen und ungleicher Masse, verhält sich die Dichtigkeit, wie die Quotienten, die herauskommen, wenn man jede Masse durch ihr Volumen dividirt. Oder auch wie die Produkte, die heraus kommen, wenn man die Masse des einen Körpers mit dem Volumen des andern gegenseitig multiplicirt.

Ein Stein habe ein Volumen von 2 Kubikzolle und wiege 5 Pfund; ein anderer messe 3 Kubikzolle, und wiege 4 Pfund. Die Dichtigkeit des einen Steins verhält sich hiernach zu der des andern, wie $\frac{5}{2} : \frac{4}{3} = 15 : 8$.

Digitized by Google

Da wir aber nicht im Stande sind, die Menge des materiellen Stoffes in irgend einem Volumen zu bestimmen, so bedient man sich hierzu der Gewichte der Körper, indem man annimmt, daß diese und die materiellen Theile der Körper übereinstimmend seyn müssen. Hiernach verhalten sich nun, bei gleicher Wärme, die Dichtigkeiten zweier Körper bei gleichem Volumen wie ihre Gewichte, bei gleichem Gewichte umgekehrt wie das Volumen, und wenn beide ungleich sind, wie die Produkte, die herauskommen, wenn man das Gewicht des einen Körpers mit dem Volumen des andern multiplicirt.

§ 13. (II. Theilbarkeit.) Da ein jeder Körper aus einem Aggregat von Theilen bestehet, die sich in dem Volumen des Körpers angehäuft haben, so können diese Theile auch von einander getrennt werden. Die Theilbarkeit ist daher, auch der Erfahrung gemäß, eine Eigenschaft, die allen Körpern zukommt. Für das physikalische Studium der Natur würde es aber von unberechenbarer Wichtigkeit seyn, könnten wir die Theilbarkeit der Körper so weit fortführen, daß endlich solche Theilchen zum Vorschein kämen, deren Eigenschaften ganz anderer Art wären, als die waren, die wir an dem unzertheilten Körper wahrnahmen. Eine solche Theilung würde uns über die Materialität der Körper einen wünschenswerthen sinnlich wahrnehmbaren Aufschluß geben können, und zeigen, woher es kommt, daß die Körper so sehr verschiedene Eigenschaften haben. Allein bis zu dieser Gränze hin die Theilung fortzuführen, ist rein unmöglich, und damit bleibt auch die Frage: ob überhaupt die Theilbarkeit der Körper ins Unendliche gehe, mithin so, daß man jedes noch so klein gedachte Theilchen doch immer wieder theilbar sich denken könne, oder ob der Theilung Gränzen gesetzt seyen, über welche hinaus sich keine weitere Theilung mehr denken ließe, diese demnach allemal irgendwo für beendiget zu halten sey, auf dem Standpunkt der Erfahrung eine schwebende. Dem Physiker, der nur diesen Standpunkt sich wählen kann, erscheint daher auch diese Frage als eine unfruchtbare; ihm genüget es, zu wissen, daß jeder Körper theilbar ist.

Wie ungemein weit aber die Theilbarkeit geht, die wir noch sinnlich wahrzunehmen im Stande sind, ist wohl Jedem durch vielfache eigene Erfahrungen hinlänglich bekannt, und in der Natur wie in den Gewerben läßt sie sich auf tausendfältige Weise beobachten. Wenige Tropfen einer wohlriechenden Flüssigkeit können einen großen Saal mit ihrem Geruch erfüllen; ein einziger Gran Moschus kann dieses auf lange Zeit hinaus bewirken. Ein Saal, der 70 Schuh lang, 30 Schuh breit und 20 Schuh hoch ist, der mithin $70 . 30 . 20 = 42.000$ Kubikschuh, und 1728 mal so viel = 72576000 Kubikzoll enthält, kann von einigen Rauchkerzchen mit Geruch erfüllt werden, und ein jeder Kubikzoll des Saales enthält eine ungeheure Menge des sehr feinen Rauchkerzen-Dufts. Wie über alle Vorstellung hinaus ist schon diese noch wahrnehmbare Theilung einiger Rauchkerzchen! Der Golddrahtzieher belegt einen silbernen Cylinder von 22 Zoll Länge und anderthalb Zoll Dicke mit etwa 4 Dukaten und zieht daraus einen Draht, der über 100 Meilen lang und noch dick genug ist, um in vier Theile gespalten zu werden, und jedes noch so kleine Theilchen ist dabei mit Gold bedeckt. Wie unzählig groß ist auch hier die Menge der wahrnehmbaren Theile, die aus den vier Dukaten gemacht worden sind! Dennoch besitzt jedes dieser Theilchen alle die Eigenschaften, die dem Golde überhaupt zukommen, seine Farbe, sein Dichtigkeitsverhältniß,

Digitized by Google

wie auch dieselbe Verwandtschaft zu den chemischen Agentien, da es allen denen widerstehet, die das Gold nicht angreifen, dagegen aber von denen aufgelöst wird, die das Gold auflösen, z. B. vom Königswasser (salpetersaure Salzsäure), zum Zeichen, daß mit dieser Theilung, ja selbst mit dem feinsten Goldspänchen, die Gränze noch nicht erreicht ist, wo das Gold aufhört, Gold zu seyn, und wodurch wir einen sinnlich wahrnehmbaren Aufschluß über das Wesen seiner eigenthümlichen materiellen Beschaffenheiten erlangen könnten.

Einen andern Beweis von weitgehender Theilbarkeit, ohne daß die wesentlichen Eigenschaften dabei eine Veränderung erleiden, liefern die Platindrähte, die nach dem von Wollaston angegebenen Verfahren von so außerordentlicher Feinheit erhalten werden, daß man sie zwischen den Fingern nicht fühlt, und kaum sehen kann. Dieses Verfahren bestehet darin, daß man den Platindraht, ehe er so dünn geworden ist, daß er nicht mehr durch den Drahtzug gezogen werden kann, mit einer fest anliegenden Hülse von Silber umgibt, und dann wieder durch den Drahtzug zieht. Ist nun hierdurch die vereinigte Platin- und Silbermasse wiederum für den Drahtzug zu dünn geworden, so wird abermals eine solche silberne Hülse darum gelegt, und die Ziehung wieder fortgesetzt, und diese Operation wird so lange, als es nöthig scheint, wiederholt. Durch siedende Salpetersäure (Scheidewasser), die das Silber, aber das Platin nicht angreift, wird dann das Silber aufgelöst, und der außerordentlich feine Platindraht bleibt zurück. Auch die sehr feinen Silbertheilchen in der Salpetersäure kann man wieder zurückerhalten, wenn man Kupfer zusetzt, wodurch das Silber ausgeschieden und niedergeschlagen wird. Ein solcher Platindraht hat nur $^1/_{1200}$ Millimeter, etwa 0,00037 französische Linien im Durchmesser, aber noch alle Eigenschaften des Platins.

Noch viel weiter reicht die Theilbarkeit in den Werkstätten der Natur, wie wir solche an den Infusionsthierchen, den Spinnenfäden, dem Pflanzenduft, dem Lichte und vielen andern Dingen vielfältig wahrzunehmen vermögen, ohne jemals in dem Bereich unserer Sinne auf Wahrnehmungen zu gelangen, aus denen wir Resultate über die letzten Elemente der Körper (Atome und Molekül) und deren wesentliche Beschaffenheiten ableiten könnten.

Indessen hat man zwei Arten von Theilungen zu unterscheiden, die mechanische und die chemische. Durch jene entstehen solche Theile, die im Wesentlichen noch ganz dieselben Eigenschaften haben, wie sie der Körper hatte, zu dem sie gehörten; nur kleiner sind sie durch die Theilung geworden, sind aber sonst dem Ganzen gleichartig geblieben. Eisenfeile ist noch immer Eisen, Glasscherbchen sind noch immer Glas, zerriebener Zucker ist noch immer Zucker, Sägespäne sind noch immer Holz.

Durch diese hingegen werden die Körper zerlegt, und in Bestandtheile zertheilt, die ganz andere Eigenschaften besitzen, als im Zustand der Vereinigung. Wasser hat andere Eigenschaften, als seine chemischen Bestandtheile (Wasserstoff und Sauerstoff), Zinnober andere, als Queckfilber und Schwefel, in die er sich zerlegen läßt, Asche und Kohlen andere, als das Holz, aus dem sie entstanden sind.

§ 14. (III. Bewegbarkeit.) Eine andere, allen Körpern gemeinsame Eigenschaft ist die Fähigkeit derselben, von dem Ort, den sie in dem Raume inne haben, an einen andern Ort gelangen zu können, sowohl ein jeder Körper im Ganzen, als auch nur einzelne Theile desselben, wenn diese ihre Lage

Digitized by Google

gegen einander ändern, z. B. wenn ein befestigtes Rad sich um seine Achse dreht, oder Theile einer flüssigen Masse ihren Ort verändern, aber nicht die ganze Masse, und dergl. m. Diese Eigenschaft nennt man die Beweg-barkeit oder die Beweglichkeit, so wie man eben darum die Materie das Bewegliche im Raume zu nennen pflegt, und rücksichtlich ihrer Undurchdringlichkeit auch das Undurchdringliche im Raume.

Diese Eigenschaft, die wichtigste von allen, weil alle Phänomene auf Bewegung beruhen, ohne welche Alles todt und unwirksam seyn würde, verdient schon deßhalb, und mehr noch wegen der mancherlei Umstände, unter welchen sie sinnlich wahrgenommen wird, in einem ganz besondern Grade eine nähere und genauere Betrachtung, von deren Principien dann auch, so weit sie in das Gebiet der Physik einschlagen, und die Gränzen dieses Werks es verstatten, späterhin die Rede seyn wird.

§ 15. (IV. Trägheit.) Obgleich es aber keinen Körper gibt, der keiner Bewegung fähig wäre, so können wir doch auch in keinem etwas finden, wodurch er selbstthätig eine Bewegung zu erzeugen vermöchte, und die Ursache einer jeden Bewegung ist daher außer dem Körper zu suchen. Dieser Mangel an Selbstthätigkeit zeigt sich aber auch in dem umgekehrten Falle, wo eine Bewegung gehemmt wird, und auch hierzu liegt die Ursache außerhalb des Körpers.

Mit Recht kann man daher behaupten, daß jeder Körper in sich selbst nichts habe, was ihn freiwillig von dem Zustand der Ruhe in den der Bewegung, oder von dieser in den der Ruhe versetzen könnte, was eben so viel sagen will, daß die Materie gegen Ruhe und Bewegung ohne Selbstthätigkeit oder gleichgültig ist. Diese Eigenschaft, die allen Körpern gemeinsam ist, nennt man die Trägheit, das Beharrungsvermögen, die Beharrung.

In dem Thierreiche sehen wir zwar Ruhe und Bewegung aus einer innern Willenskraft hervorgehen, dessen ungeachtet kann dieser Wille, dem die Glieder gehorchen, weder in diesen Gliedern selbst, noch sonst wo in irgend einem Theile des thierischen Körpers gesucht werden, da jedes Glied, so wie es von dem Körper getrennt ist, dieses Vermögen verliert, und dieses auch für den Körper im Ganzen durch den Schlaf und noch mehr durch den Tod verloren geht, obschon die Theile des Körpers noch ihren Zusammenhang haben. Es scheint daher auch in dem thierischen Körper die Materie für sich selbst durchaus träge, und das, was wir den Willen nennen, eine immaterielle Grundursache zu seyn, welche die Materie, von der sie ganz verschieden ist, belebt und auf sie wirkt, deren Beschaffenheiten aber für uns in ein undurchdringliches Dunkel gehüllt sind.

Daß wir übrigens eine bewegte Masse so oft wieder ruhig werden sehen, ohne eine äußere Kraft, die dieses bewirkt, wahrzunehmen, ist nur Schein, nicht Wahrheit, indem wir an Reibung, Widerstand der Luft und an manche Hindernisse nicht denken, die sich der steten Fortdauer einer Bewegung entgegensetzen, sie schwächen und nach und nach aufheben. Könnten wir z. B. eine Billardkugel so in Bewegung bringen, daß sie sich auf dem rauhen Tuch gar nicht reibe, und daß alle Luft um sie herum ihrer Bewegung gar keinen Widerstand leistete, so würde sie, nur erst in Bewegung gesetzt, diese auch immer fortsetzen müssen, ohne daß ein neuer Eindruck von außenher dazu erforderlich wäre.

Die Trägheit dient zur Erklärung vieler Phänomene, unter andern der folgenden:

Digitized by Google

1) Der unaufhörlichen Bewegung der Himmelskörper. Diese setzen die Bewegung, die sie bei ihrer Entstehung erhalten haben, zum Theil vermittelst der Trägheit fort, da der Raum, in welchem sie sich bewegen, keinen Widerstand leistet, der groß genug wäre, sie zu schwächen, oder gar aufzuheben.

2) Läßt man auf ein ruhendes Wasserrad Wasser schießen, so kommt es in Bewegung, aber nicht auf der Stelle, sondern erst nach und nach, und eben so setzt es die einmal erlangte Bewegung noch eine Zeitlang fort, wenn gleich der Zufluß des Wassers gehemmt wird, weil jeder Körper seinen Zustand, sey es der Ruhe oder der Bewegung, nur erst allmählig verändern kann.

3) Große Lasten, schwer beladene Fuhrwerke, erfordern eine Anstrengung, um sie aus der Ruhe in Bewegung zu versetzen, die weit größer als die Anstrengung ist, durch welche man ihre Bewegung unterhält, wenn sie einmal in den Gang gekommen sind.

4) Ein Wagen, der im schnellen Fahren plötzlich anhält, ein Kahn, der plötzlich an das Ufer stößt, kommt nicht augenblicklich zur Ruhe, sondern stößt noch etwas vorwärts. Personen, die alsdann im Wagen und im Kahn stehen, schwanken vorwärts, wenn sie sich nicht etwas zurück legen. Je rascher die Bewegung ist, desto heftiger ist auch dieser schwankende Stoß, daher die Wageuzüge auf Eisenbahnen durch elastische Kissen, die den Stoß ableiten, mit einander verbunden seyn müssen.

5) Ist man in sehr starkem Laufen, so kann man sich nicht plötzlich einhalten.

6) Legt man eine glatte Kugel auf ein glattes Brett, das horizontal gehalten und in dieser Lage bewegt wird, so bleibt die Kugel noch eine kurze Zeit in Ruhe. Nach und nach aber nimmt sie die horizontale Bewegung des Brettes an und rollt fort, wenn auch das Brett nicht mehr bewegt wird.

7) Noch vollkommener sieht man dieses mit Hülfe der Schwungmaschine. Diese Maschine bestehet gewöhnlich aus zwei wagerechten Scheiben, die in einem Gestelle liegen und verschiedene Größe haben. Eine dieser Scheiben hat eine Kurbel, durch welche sie in Umdrehung gesetzt werden kann, wo dann die andere Scheibe, die durch eine Schnur ohne Ende mit ihr verbunden ist, sich ebenfalls umdrehet. Auf dieser zweiten Scheibe liegt, vermittelst einer besondern Vorrichtung, eine Kugel. Werden die Scheiben gedrehet, so bleibt die Kugel eine Zeitlang ruhig liegen und kommt erst nach und nach in Bewegung. Ist sie aber einmal dazu gelangt, so setzt sie ihre Bewegung noch fort, nachdem die Scheiben schon lange sich zu drehen aufgehört haben.

9) Einen irdenen Pfeifenstiel kann man zwischen ein Paar Schleifen von Menschenhaaren aufhängen, und ihn durch einen schnellen und kurz geführten Schlag entzwei schlagen, ohne daß die Schleifen dadurch zerrissen werden. Die Bewegung des Pfeifenstiels ist hier so schnell, daß ihr keine Zeit übrig bleibt, sich den Schleifen mitzutheilen, die daher auch nicht aus ihrer Ruhe kommen.

9) Legt man einen solchen Stiel, oder einen sehr dünnen und dürren Stock, auf ein Paar Gläser von gleicher Höhe, die etwas aus einander stehen, so kann man den Stiel oder Stock schnell entzwei schlagen, ohne die Gläser umzuwerfen oder zu zerbrechen. Sind die Gläser voll Wasser, so läuft dieses durch den Schlag nicht über, aus demselben Grunde, der im vorigen Versuche angegeben ist.

Digitized by Google

10) Geldstücke, die auf einem Kartenblatte über die Oeffnung eines Glases oder einer Flasche liegen, fallen in das Glas oder die Flasche hinein, wenn man das Kartenblatt schnell nach der Seite zu schnellt, weil die Bewegung des Kartenblatts zu schnell ist, um sich den Geldstücken mitzutheilen und sie mit fortzunehmen; sie würden liegen bleiben, wenn sie ohne Unterlage ruhen könnten.

11) Besser gelingt dieses Kunststück, wenn man statt des Kartenblattes einen biegsamen Ring von Pappe oder steifem Papier nimmt. Man setzt diesen Ring über den Hals einer Flasche, und legt einige Geldstücke übereinander auf seinen äußern Umfang, der Mündung der Flasche gegenüber, die klein genug sind, um durch den Hals fallen zu können. Wird der Ring schnell fortgeschlagen, so fallen die auf ihm liegenden Geldstücke in die Flasche hinein. Dieses ziemlich allgemein bekannte Kunststück gelingt indessen nur dann, wenn der Schlag nach dem innern Seitenrand des Ringes geführt wird. Schlägt man aber an den äußern Rand, so wird dadurch der Ring etwas zusammengedrückt, die Bewegung theilt sich dann auch den Geldstücken mit, und diese fallen nun von der Flasche weg.

12) An einem langen Zwirnsfaden hänge man ein Gewicht an den Arm eines Wagebalkens, an dem andern ein Gegengewicht. Hebt man den Faden mit dem Gewicht ein wenig in die Höhe und läßt ihn dann fallen, so bleibt der Faden ganz, und das Gegengewicht steigt aufwärts, weil sich die Bewegung allmählig durch den langen Faden fortpflanzt. Hebt man aber den Faden mit dem Gewicht ziemlich hoch, so zerreißt er, indem man ihn fallen läßt, ohne den Wagebalken mit herabzuziehen, weil die Bewegung so schnell ist, daß der Faden dadurch plötzlich aus der Trägheit gerissen, daher ganz erschüttert wird, indessen sie nicht Zeit hat, sich dem Wagebalken mitzutheilen.

13) Aus demselben Grunde kann man mit einer Bleikugel ein rundes Loch durch eine Fensterscheibe schießen, während sie von einem heftigen Stoße zersplittert wird.

14) Eine Art, ein Hammer, ein Besen und dergleichen, die nicht fest auf ihrem Stiele sitzen, werden fest darauf, wenn man das untere Ende des Stiels einigemal heftig auf den Boden aufstößt. Der heftige Stoß hemmt das Wackeln des Stiels, und pflanzt sich auch auf den Körper fort, der lose darauf sitzt. Dieser schiebt nun weiter in den Stiel hinein, und bekommt mehr Halt.

15) Schlägt man mit einem Schlüssel oder einem Stocke auf die Rohrmündung einer irdenen Pfeife, so wird das Rohr dadurch erschüttert. Die Erschütterungen pflanzen sich nach dem Kopfe fort, und dieser springt von der Pfeife ab.

16) Eine Flinte, in welcher die Pfropfen nicht fest auf der Pulverladung sitzt, kann beim Abfeuern zersprengt werden, indem der Lauf dadurch zu heftig angegriffen wird. Hierauf gründet sich auch der Vorschlag, Steine durch Pulver zu sprengen, das bloß mit losem Sand bedeckt ist. Ein sehr merkwürdiger Fall der Art ereignete sich in den Steinbrüchen zu Solothurn, wo oft sehr große Blöcke abgesprengt werden, die dann zu nahe an der Felsmasse liegen bleiben und nicht gut fortgeschafft werden können. Am 24. September 1825 wurde ein Bohrloch, das 3,5 Zoll weit und 14,5 Fuß tief war, mit 18 Pfund Pulver geladen, die 8 Fuß des Loches ausfüllten, und in den noch übrigen Theil des Loches grobkörniger Sand aufgeschüttet. Die Explosion lös'te einen großen Felsblock

Digitized by Google

ab, aber der Spalt war nur 2 Linien weit. Um nun den Block weiter zu entfernen, füllte man das Bohrloch wieder mit 15 Pfund Pulver, die aber jetzt nur 2 Fuß hoch reichten, wogegen der ganze Spalt mit lockerem Sand gefüllt wurde. Nach abermaliger Explosion war nunmehr der ungeheuere Block, der 14 Fuß hoch, 16 Fuß breit und 21 Fuß lang war und ein Gewicht von 7200 Zentner hatte, 4 Fuß weit vom Felsen abgerückt.

17) Eine Bombe, die unter Wasser zersprengt wird, kann ein kleines Erdbeben verursachen. Die Wassertheile werden dadurch so heftig erschüttert, daß sie nicht Zeit zum Ausweichen haben, daher auf die festen Wände zurück wirken, von denen sie umgeben sind.

18) Füllt man ein Faß mit Wasser an, und setzt eine Flasche mit Schießpulver hinein, das man vermittelst einer aus der Flasche hervorragenden Röhre, die ebenfalls mit Schießpulver angefüllt ist, oder vermittelst eines Schwefelfadens entzünden kann, so wird das Faß, das auch oben einen Deckel haben muß, zertrümmert, und die Trümmer werden weit weggeschleudert.

19) Derselbe Versuch läßt sich im Kleinen und ohne Gefahr machen, wenn man eine Glasthräne in ein Glas voll Wasser setzt, dieses mit einem papiernen Deckel versieht, und den Schweif der Thräne durch ihn heraus geben läßt. In dem Augenblick, wo man das hervorstehende Ende des Schweifes abbricht, wird das Glas zerschlagen.

20) Haben aber die Wassertheile Zeit zum Ausweichen, so zersprengen sie das Gefäß nicht, in dem sie enthalten sind. Man kann sich davon überzeugen, wenn man eine Blase, vermittelst einer daran befestigten Röhre, in einem mit Wasser angefüllten Gefäße aufbläs't. Da hier die Blase nur allmählich aufschwillt, so weichen die Wassertheile aus, und üben daher keine so große Gewalt auf die Wände des Gefäßes aus.

§ 16. (Kräfte.) Das Uebereinstimmende aller Phänomene ist Bewegung. Ein Sandkörnchen, das von einem Hauch verwehet wird, ein Wassertröpfchen, das zu einem andern sich gesellt, oder von einer Masse sich trennt, und an dem Finger hängen bleibt, ein Holzsplitterchen, das vom Stamme sich los macht, ein Fünkchen, das in die Luft sprühet, hat eine Ortsveränderung erlitten, und Bewegung gemacht, wie ein Stein, der von einer Anhöhe herabrollt, wie ein Weltkörper, der sich um seine Achse und um einen andern Weltkörper herumwälzt.

Obschon wir aus Erfahrung wissen, daß die Fähigkeit zur Bewegung keinem Körper fehlt, so müssen wir doch jede Bewegung als eine Wirkung betrachten, die durch irgend eine Ursache erzeugt worden ist. Eine Ursache, durch welche Bewegung bewirkt wird, nennt man eine Kraft.

Es kann aber eine Kraft, die eine Bewegung zu bewirken, oder überhaupt den Zustand eines Körpers zu verändern vermag, einen Widerstand finden, der groß genug ist, sie völlig wieder zu vernichten, und ihre Wirksamkeit ganz und gar aufzuheben, oder auch so, daß nur ein Theil der Kraft durch den Widerstand verloren geht, sie also mehr oder weniger in ihrer Wirksamkeit geschwächt wird. So wie nun die Bewegung eine Wirkung ist, die ihre Ursache hat, so muß auch der Widerstand, den sie findet, eine Ursache haben. Auch die Ursache, die einen Widerstand bewirkt, die Bewegung aufhebt oder schwächt, wird eine Kraft genannt, und zwar eine Gegenkraft, in so fern sie einer andern entgegenwirkt. Kraft ist daher nicht nur die Ursache, durch welche Bewegung entstehet, sondern auch die, durch welche Bewegung verhindert und gehemmt wird. Einen



Digitized by Google

Kahn stromaufwärts zu ziehen, erfordert eine Kraft, und der Strom, der ihr einen Widerstand entgegensetzt, ist ebenfalls eine Kraft, ist die Gegenkraft, die überwunden werden muß.

Versucht man es, irgend ein Phänomen so lange zu zergliedern, bis man endlich auf die Kraft hingelangt, welche als die letzte sich behauptet, und von welcher alles Uebrige in dem Phänomen abhängig war, so gelangt man immer auf solche Kräfte, deren eigentliches Wesen gar nicht mehr Gegenstand sinnlicher Wahrnehmungen ist, und die eben darum von uns gar nicht anders erkannt werden können, als bloß und allein dadurch, daß wir aus ihren Wirkungen auf ihr Dasein schließen. Solche Kräfte nennt man Grundkräfte. In ihnen sind die Geheimnisse der Natur niedergelegt, und zu ihnen hinauf vermag sich der Mensch mit all seinem Wissen und Forschen nicht zu erheben. Wie tiefe Denker diesen Versuch auch schon gewagt haben und wie viel Wahrscheinliches auch in der Behauptung liegen mag, daß die Kräfte, die wir für Grundkräfte halten, noch weiterer Zergliederungen fähig seyn könnten, es ist damit nichts gewonnen, und nichts weiter klar geworden, als das Bewußtseyn von der Beschränktheit unseres irdischen Wissens, wie dieses bereits im ersten Kapitel an einem Beispiele gezeigt worden ist. (§ 4.)

Je mehr und je sorgfältiger wir aber die Naturerscheinungen verfolgen, desto deutlicher erscheinen sie uns insgesammt als Wirkungen von Anziehungskräften, deren Gegentheil wir die Abstoßung nennen. So sagen wir z. B., der Magnet zieht das Eisen an, der Nordpol des einen Magnets stößt den Nordpol des andern ab, die Sonne zieht die Planeten an, die Erde zieht alle irdischen Körper an und dergl. m. Obgleich wir nun das Wesen dieser Kräfte für sich selbst eben so wenig kennen, als den eigentlichen Sitz derselben, so schließen wir doch aus ihren Wirkungen, deren Gesetze wir nachspüren, und die sich allenthalben unter dem Bilde der Anziehung und Abstoßung äußern, daß es in der Natur ein allgemeines Band geben müsse, welches alle Körper umschlingt, und wodurch die einzelnen Theile eines jeden Körpers unter sich mit einander verbunden sind, und daß mithin die Anziehung oder die Attraction die Kraft ist, von der die materielle Welt durchaus beherrscht und die Wechselwirkung der Körper auf einander bestimmt wird.

§ 17. (Verschiedene Attractionen.) Fassen wir die Wirkungen der Anziehung mit der gehörigen Schärfe auf, so werden wir bald gewahr, daß sie auf zweierlei Arten, die wesentlich von einander verschieden sind, aufzutreten scheint, wodurch denn auch die Gesetze ihrer Wirksamkeit sich bestimmen.

Wir bemerken nämlich, daß es Anziehungen gibt, die nur in der Berührung wirken, deren Wirkungskreis daher nur auf die kleinsten Theile eines und desselben Körpers beschränkt ist, oder doch nur auf so kleine Abstände, daß wir sie nicht zu messen vermögen. Diese nennt man Molekular-Anziehungen, Molekularkräfte, und werden eingetheilt in: Cohäsion, Adhäsion, Affinität und Capillarität. Anderntheils sehen wir auch, wie das magische Band der Anziehung von einem Körper zu andern wirkt auf Entfernungen, die gemessen werden können, und die mitunter sehr groß sind, z. B. die gegenseitige Anziehung der Weltkörper. Diese heißt dann die allgemeine Schwere, die Gravitation, die allgemeine Attraction.

§ 18. (1. Cohäsion.) Daß eine Molekular-Anziehung zwischen den kleinsten Theilchen eines Körpers vorhanden seyn müsse, schließen wir dar-

Digitized by Google

aus, daß wir zu ihren Trennungen oder Zusammendrückungen immer irgend einer Gewalt bedürfen. Die Kraft, mit welcher die kleinsten Theilchen eines Körpers zusammenhängen und Widerstand leisten, nennt man die Cohäsion, die Cohäsionskraft. Die ganze materielle Welt gibt Zeugniß von den Wirkungen dieser Kraft, da ohne sie die Materie im Raume nur in chaotischer Zerstreuung und überall ohne Gestalt und Zusammenhang seyn würde.

§ 19. (Feste und flüssige Körper.) Von der Cohäsionskraft an sich wissen wir gar nichts, und selbst in ihren Wirkungen ist sie uns noch wenig bekannt. Was wir davon wissen, beschränkt sich darauf, daß es viele Körper gibt, welche der trennenden Gewalt einen merklichen, bald größern, bald kleinern, Widerstand entgegensetzten, z. B. Metalle, Steine, Hölzer u. a. m.; dagegen andere, wie Oel, Wasser, Luft und dergl. m. einen ganz unmerklichen Widerstand leisten. Diese Verschiedenheit begründet die Eintheilung der Körper in feste und flüssige.

Körper, deren Theile so beträchtlich zusammenhängen, daß sie sich weder leicht trennen, noch verschieben lassen, heißen feste (starre) Körper; sie haben allemal eine bestimmte selbstständige Gestalt, die ihnen auch dann noch bleibt, wenn man sie in ein Gefäß einschließt.

Körper aber, deren Theile so lose zusammenhängen, daß sie in jeder Richtung sehr leicht, mit fast unmerklicher Kraft, getrennt und verschoben werden können, heißen flüssige Körper. Diese Körper, die in einem Behälter gesperrt seyn müssen, wenn sie nicht auseinander fließen sollen, haben keine selbstständige Gestalt, sondern nehmen jedesmal die des Behälters an, in dem sie sich befinden.

Indessen gibt es eben so wenig absolut flüssige Körper, solche nämlich, die gar keine Cohäsion haben, als es absolut feste gibt, deren Cohäsion jeder Kraft zu widerstehen vermöchte.

§ 20. (Wesentliche Verschiedenheit der flüssigen Körper.) Die flüssigen Körper zeigen sich darin wesentlich von einander verschieden, daß sie theils tropfbar, theils luftförmig sind, und hiernach weichen auch die Erscheinungen, die sie unter gleichen Umständen darbieten, sehr von einander ab. Die tropfbaren Flüssigkeiten zeigen, wie das Wasser, kein Bestreben zur Ausdehnung ihrer Theile in dem Raum, den sie einnehmen und der sie sperrt, und setzen jedem äußern Druck einen fast unüberwindlichen Widerstand entgegen. Die luftförmigen Körper, deren Cohäsion noch weit geringer ist, als die der tropfbaren, und zu denen alle Luftarten und Dämpfe gehören, zeigen ein immerwährendes Bestreben zur Ausdehnung ihrer Theile in dem Raum, den sie einnehmen, können aber durch äußern Druck in einen engern Raum zusammen gepreßt werden, und dehnen sich, wenn der Druck nachläßt, oder sie ihn überwältigen können, sogleich wieder, so weit es angehet, aus. Daher diese Körper nur dann in einem Behälter erhalten werden können, wenn dieser nach allen Seiten hin abgesperrt ist. Wegen dieser Eigenschaft nennt man diese Körper auch ausdehnsame oder expansible Flüssigkeiten.

§ 21. (Aggregatzustände.) Die Aggregatzustände der Körper (§ 11) bestehen demnach in Festigkeit, Tropfbarkeit und Ausdehnsamkeit, und vornehmlich nach diesen Zuständen richten sich dann auch die Gesetze der Naturerscheinungen, besonders die, welche die Bedingungen der Ruhe und der Bewegung bestimmen. Es gibt aber Körper, die in alle drei Aggregatzustände versetzt werden können, ohne bei dem Uebergang aus einem



Digitized by Google

dieſer Zuſtände in den andern von ihren Beſtandtheilen etwas zu verlieren, oder einen neuen Beſtandtheil in ſich aufzunehmen, wie z. B. viele tropfbare Flüſſigkeiten, die durch Gefrieren feſt und durch Kochen und Verdunſten ausdehnſam werden. Andere ſind nur für zwei Zuſtände geeignet, z. B. Weingeiſt iſt tropfbar und kann ausdehnſam werden, wird aber auch bei der ſtärkſten Kälte nicht feſt, oder doch erſt, nach neuern Verſuchen, bei der ungeheuren Kälte von 80 Grad R. Wieder andere bleiben immer nur in einem einzigen Zuſtand, z. B. die meiſten Erdarten, die immer feſt, und die meiſten Luftarten, die immer ausdehnſam bleiben, ſo lange nicht ihre Beſtandtheile durch chemiſche Vermiſchungen eine Aenderung erleiden.

§ 22. (Urſache der Aggregatzuſtände.) Ueber die Urſache dieſer verſchiedenen Zuſtände ſind die Meinungen der Naturforſcher ſehr getheilt. Viele Phyſiker ſehen den Zuſtand der Flüſſigkeit als eine Folge entgegenwirkender Anziehung und Abſtoßung an, die nach allen Richtungen durch gleichförmige Thätigkeit ſich gegenſeitig aufheben, und wodurch keine feſte Verbindung zwiſchen den einzelnen Theilchen entſtehen kann, während bei einem feſten Körper die Anziehung der Theilchen unter ſich größer ſey, als die Kraft, mit der ſie ſich abſtoßen. Dabei nimmt man ferner an, daß bei den tropfbar flüſſigen Körpern die Cohäſionskraft mit der Expanſionskraft im Gleichgewicht ſey, bei den ausdehnſamen dagegen habe dieſe das Uebergewicht über jene. Andere nehmen eine eigenthümliche flüſſige Materie, und noch Andere ſehen die Flüſſigkeit für eine bloße Einwirkung der Wärme an. Wer von ihnen Recht hat, läßt ſich mit Gewißheit nicht entſcheiden. Augenſcheinlich hat aber die Wärme auf den Zuſtand der Flüſſigkeit großen Einfluß, wenn ſie auch nicht die einzige Bedingung derſelben iſt; denn der Erfahrung gemäß können viele flüſſige Körper durch einen hinreichenden Grad von Kälte feſt werden, wie z. B. Waſſer, das zu Eis gefriert, und ſo auch umgekehrt kann ein hinreichender Grad von Hitze einen feſten Körper in den Zuſtand der Flüſſigkeit verſetzen, wie z. B. ein Metall, das geſchmolzen wird. Auch durch chemiſche Vermiſchungen kann, der Erfahrung gemäß, der Aggregatzuſtand der Körper ſich ändern, und die Miſchung nimmt dann, ohne Einfluß einer erhöheten oder verminderten Temperatur, einen ganz andern Zuſtand an, als deren Beſtandtheile hatten. Als Beiſpiele mögen hier erwähnt werden die Verbindung des Sauerſtoffgas mit Waſſerſtoffgas zu Waſſer, des ſalzſauren- und Ammoniak-Gas zu Salmiak, die Vereinigung von einem Maß Fluorborongas mit zwei Maß Ammoniakgas zu einer tropfbaren Flüſſigkeit, und bei gleichen Maßen zu einer feſten Maſſe, und die Miſchung einer geſättigten Solution von ſalzſaurem Kalke mit etwa einem gleichen Volumen verdünnter Schwefelſäure, die aus einem Theil Säure und einem Theil Waſſer beſtehet, zu Gyps und dergl. m.

§ 23. (Kryſtalliſation.) Sehr merkwürdig iſt das Phänomen, das man wahrnimmt, wenn ein flüſſiger Körper in einen feſten ſich verwandelt. Iſt der Raum, in welchem dieſe Verwandlung vor ſich geht, nicht zu beſchränkt, und werden die feſt werdenden Theile durch Schütteln, Umrühren, oder durch ſonſtige Bewegung von außen nicht in ihrem ruhigen Fortgang geſtört, ſo bekommen ſie ein ſehr regelmäßiges Gefüge (Textur) und einen höchſt regelmäßigen Umriß. Ein ſolcher regelmäßiger, in beſtimmten Umriſſen gebildeter feſter Körper wird ein **Kryſtall** genannt. Die **Kryſtalliſation** erfordert, daß ein feſter Körper zuerſt in den flüſſigen Zuſtand, entweder durch Schmelzen, oder durch ſehr feine Zertheilung in andere flüſſige Körper, oder durch Auflöſung in denſelben übergegangen

Digitized by Google

ist, und daß er alsdann, ohne äußere Störung, dadurch nach und nach wieder fest wird, daß er entweder wieder erkaltet oder gefriert, oder sich ruhig wieder auf den Boden setzen kann, oder das Auflösungsmittel nach und nach wieder verdunstet. Geht der Körper zu schnell aus dem Zustand der Flüssigkeit zur Festigkeit über, so wird die Bildung mehr oder weniger unförmlich und kann wohl in ihrem innern Gefüge noch immer regelmäßig geworden, jedoch ohne jene bestimmte Umrisse geblieben seyn, die der Krystallisation eigen sind. Solche Körper, denen nicht nur äußerlich, sondern auch im Innern jede Art von krystallinischer Form abgeht, werden amorphe (gestaltlose) Körper genannt. Außer vielen Krystallen, die man, unter den erforderlichen Bedingungen, erzeugen, und in ihrer Entstehung, Ausbreitung und Vergrößerung, so wie in ihren verschiedenen Gestaltungen, beobachten kann, liefert die Natur eine unzählige Menge krystallisirter Körper, im Bergkrystall, Schwer- und Kalkspath, Granat, Topas u. v. a. m. von mannigfaltigen und eigenthümlichen stereometrischen Gestalten, die jedoch bald mehr, bald weniger vollkommen regelmäßig ausgebildet sind. Die Wahrnehmung, daß ein Krystall nur unter den nöthigen Bedingungen sich bilden kann, führt auf die Vermuthung, daß die Materie, wenn sie allein der Cohäsionskraft folgt, sich immer in den Flächen berühret, in welchen sie die stärkste Anziehung äußert; aber die Ursache, warum sie alsdann gerade diese oder jene Gestalt annimmt, ist uns völlig unbekannt, und wir sind nicht im Stande, die sehr verschiedenartigen Krystallisationen des Schnees, des Eises, des Zuckers, Schwefels und vieler andern auf eine genügende Weise zu erörtern. Die schätzbarsten Erfahrungen hierüber verdanken wir dem französischen Mineralogen Haüy, der es unternahm, die Form der kleinsten Theilchen und die Gesetze ihrer regelmäßigen Gefüge mathematisch zu begründen, und die Uebereinstimmung derselben mit den Beobachtungen nachzuweisen. Seiner Theorie über die Struktur der Krystalle, wodurch er der Gründer der heutigen wissenschaftlichen und umfangreichen Krystallkunde geworden ist, legte er die mechanische Theilung derselben zu Grunde, wodurch er zugleich auch einen Beitrag über die weit gehende Theilbarkeit der Körper lieferte, indem er ein kleines Stückchen eines blättrigen Minerals (Glimmer) in mehr als 23200 für sich bestehende Täfelchen (Lamellen) theilte. Haüy fand, daß die Theilungsflächen der Krystalle eben und glatt sind, wenn man die Theilung mittelst eines schneidenden Werkzeugs, z. B. eines Meißels, auf den schwache Hammerschläge geführt werden, vollführt, und sie nach den von der Natur bestimmten Richtungen vornimmt, indem Abweichungen von diesen Richtungen die Krystalle zertrümmern, statt sie regelmäßig zu zertheilen. Bei fortgesetzter regelmäßiger Theilung kommt man endlich in der Mitte des Krystalls auf den Kern, dem Haüy den Namen der primitiven Form beilegte, und der oft eine andere regelmäßige Gestalt hat, als die an ihm außenher haftenden Krystalle. Diese heißen alsdann Krystalle der Sekundarform. Primitive Formen fand Haüy nur in sechserlei verschiedenen Gestalten, regelmäßige geometrische Körper bildend. Minerale von einerlei Gattung hatten stets dieselbe Form im Kern, obgleich ihre Sekundarformen unter sich oft wieder andere regelmäßige Körper bildeten. Die Theilung des Kerns und der Sekundarformen gaben wieder neue regelmäßige Körper, Ergänzungstheile (molecules integrantes) genannt, die immer wieder in Gestalt sich gleich blieben. Geschmolzener Schwefel, den man allmählich erkalten läßt, liefert,

Digitized by Google

wenn man die äußere Rinde, die sich bildet, durchstößt, und das Flüssige darunter ausgießt, sehr schöne Krystalle, die an dem innern Rand sich befinden. Bleibt aber die ganze Masse beisammen, so erstarrt sie, und die an einander liegenden Krystalle sind nicht mehr kennbar. Salz in Wasser aufgelöst, krystallisirt sich ebenfalls, wenn das Wasser wieder verdunstet. Im Großen sieht man dieses auf den Salzwerken. Die Sole wird da in große Pfannen geleitet, unter welchen Feuerung unterhalten wird, wo dann das Wasser durch die Hitze verdunstet, und die Salzkrystalle sich darin ansetzen. In manchen Gegenden der Erde vollendet die Natur selbst das ganze Verfahren. Dieses ist unter andern der Fall am Vorgebirge der guten Hoffnung. Dort gibt es Plätze, die oft weit vom Meere und in beträchtlicher Höhe liegen, auf welche, während der Regenzeit im Frühjahr, eine Menge Salztheile von höher liegenden Gegenden, deren Boden durchaus salzig ist, hingeschwemmt werden, und wodurch Salzteiche entstehen. Theils durch starke Sonnenhitze, theils durch heftige Winde, dunstet das Wasser im Sommer wieder weg, das Salz krystallisirt sich und sinkt zu Boden. Wo es gleich gesammelt wird, bekommt man ein sehr schönes weißes Salz. Die Menge ist aber so groß, daß es an vielen Plätzen liegen bleibt, eine Rinde ansetzt, die viele unreine Theile enthält und eine graue Farbe bekommt. Dieses Salz wird bloß zum Einsalzen der Fische benutzt, das reine aber in der Haushaltung verbraucht. Auch an den Ufern salziger Landseen, z. B. bei Alexandria in Aegypten und am Baikal, findet man solche natürliche Salzpfannen, wenn das Wasser durch die Sonnenhitze verdunstet.

Zu den Krystallen gehören auch die sogenannten chemischen Bäume, bei deren Bildung die elektrischen Eigenschaften der Metalle mit im Spiele sind.

1) Der Bleibaum. Wenn man etwa ein Loth Bleizucker in einem Bierglase voll Wasser auflöst, die Auflösung durchseihet und ein Stück Zink an einem Faden hinein hängt, so lagert sich das Blei um den Zink her, und nimmt die Gestalt eines Baumes an. (Arbor Saturni.)

2) Der Zinnbaum. Das Zinn wird erst in Essig aufgelöst, und wie bei dem Bleibaum Zink hinein gehängt. (Arbor Jovis.)

3) Der Silberbaum. Das Silber wird in verdünntem Scheidewasser aufgelöst, dann Queckſilber hinein gethan. (Arbor Dianæ; philosophischer Baum.)

§ 24. (Cohäsionsverhältniß fester Körper.) Obgleich wir die Cohäsionskraft nur allein aus dem Widerstand erkennen, den ein Körper der trennenden Kraft entgegensetzt, so ist es doch der Erfahrung gemäß, daß diese Kraft nur dann in ihrer vollen Stärke sich äußert, wenn alle Theile eines Körpers in der unmittelbaren Berührung sind, die sie von Natur aus haben. Hebt man diese Berührung auf, indem man Theile von einem Körper trennt, so kann sie nicht mehr so hergestellt werden, daß der vorige Zusammenhang vollkommen wieder erlangt und die natürliche Cohäsion der Theile dadurch ersetzt werde, weil wir durch kein künstliches Mittel die Berührungspunkte alle wieder herstellen können, die vor der Trennung vorhanden waren. Zwei Platten von Metall oder Glas, die gut polirt und sehr eben sind, halten zwar, wenn man sie auf einander legt, und etwas zusammendrückt, ziemlich fest an einander, aber doch bei weitem geringer, als im natürlichen Zusammenhang. Denn außerdem, daß vollkommen ebene Platten nicht gemacht werden können, werden die Berührungspunkte auch

Digitized by Google

dadurch vermindert, daß immer Luft zwischen ihnen bleibt, die man nie ganz wegschaffen kann.

Aufgehoben wird daher die Cohäsion auch durch jede Kraft, welche die Berührungspunkte zur Anziehung von einander entfernt, was eben so gut durch Biegen, Auseinanderziehen, Reißen, Schneiden, Sägen, Hauen, Reiben und viele andere mechanische Verrichtungen, als auch durch Schmelzen, Brennen, Sieden und dergl. m. bewirkt werden kann.

Sehr verschieden ist aber die Cohäsion in Körpern, die aus verschiedenen Materien bestehen, wenn gleich ihr Volumen einerlei ist. So hat, bei gleichem Volumen, Eisen eine andere Cohäsion als Kupfer, dieses eine andere als Blei; die Cohäsion eines Granits ist anders als die eines Sandsteins, die des Eichenholzes anders als die des Tannenholzes, und so ist es auch für alle anderen Körper.

Leicht könnte man hier auf die Meinung gerathen, daß die Cohäsion verschiedener materieller Körper mit dem Grade ihrer Dichtigkeit in Verbindung stehen, und ein dichterer Körper auch mehr Cohäsion haben müsse, als ein anderer, der bei gleichem Volumen lockerer ist. Dieses zeigt sich aber in der Erfahrung nicht bestätigt; denn wir können wahrnehmen, daß oft ein Körper an Dichtigkeit einem andern nachstehet, dennoch aber eine größere Cohäsion hat. So hat Kupfer eine geringere Dichtigkeit, aber eine größere Cohäsion als Blei.

Das Gesetz der Cohäsion für Körper von verschiedener Materie hängt demnach von der Menge der Berührungspunkte nicht allein ab, sondern auch von der Art, wie die Körpertheile sich in einander fügen, und ob sie mehr oder weniger sich zu dehnen geneigt sind. Blei kann aus dem Grunde eine geringere Cohäsion als Kupfer haben, weil es dehnbarer ist, und ein anderes Gefüge als Kupfer hat.

Um nun die Größe der Cohäsion für verschiedene Körper in Zahlen ausdrücken und vergleichen zu können, haben mehrere Naturforscher lehrreiche Versuche angestellt, indem sie annahmen, daß sie da nothwendig größer sein müsse, wo man mehr Kraft anzuwenden habe, um einen Körper seiner Länge nach zu zerreißen. Da aber nicht Jeder von ihnen zu seinen Versuchen dieselbe Körperformen wie der Andere nahm, so weichen auch die Resultate, die sie erhielten, in manchen Stücken von einander ab.

Muschenbroek nahm zu seinen Versuchen über die Cohäsion der verschiedenen Metalle viereckige Stäbchen, die 0,17 Zoll lang wie breit waren, also 0,0289 Quadratzolle zur Grundfläche hatten, bei welchen er aber die Länge als gleichgültig betrachtete, und nicht berücksichtigte. Diese Stäbchen ließ er mit dem einen Ende senkrecht aufhängen und befestigen, das andere Ende aber versah er mit einer Wagschaale, in die er nach und nach so lange Gewichte zulegte, bis das Stäbchen zerriß. Er bekam hieraus folgende Resultate: Deutsches Eisen zerriß von 1930 ℔, feines Silber von 1156, schwedisches Kupfer von 1054, feines Gold von 578, englisches Zinn von 150, deßgleichen von 188, englisches Blei von 25 ℔.

Nach diesen Versuchen hat Silber mehr Cohäsion als Kupfer. Allein nach den Versuchen, die der Graf von Sickingen mit Metalldrähten anstellte, die alle eine gleiche Länge von 2 Fuß und 0,3 Zoll im Durchmesser hatten, so wie nach den Versuchen von Guyton Morveau, der ebenfalls gleich lange Drähte von 0,887 Linien im Durchmesser dazu nahm, zeigte Kupfer mehr Haltbarkeit als Silber, und das Verhältniß der Haltbarkeit der Metalle gegen einander fiel überhaupt etwas abweichend aus.

Digitized by Google

So verhält sich nach den Versuchen von Muschenbroek die Haltbarkeit des Eisens zu der des Goldes, bei gleicher Dicke, wie 1930 zu 578, wonach also Eisen 3½mal mehr Cohäsion als Gold hat; nach den Versuchen von Guyton Morveau aber kommt dem Eisen nur 2⅔mal mehr Cohäsion zu.

Aus ähnlichen Versuchen hat man auch die Grade der Cohäsion verschiedener andern Körper kennen gelernt. Buchenholz ward dabei noch einmal so stark befunden als Tannenholz, Lindenholz noch einmal so stark als Fichtenholz von gleicher Dicke. Ein gewebtes Seil zeigte mehr Cohäsion, als ein gleich dickes geflochtenes, und dieses mehr als ein gleich dickes gedrehtes. Zu einem Schiffe von 80 Kanonen sind beinahe 230000 ℔ Seile erforderlich, wenn sie gedreht sind, aber nicht ganz 36000 ℔ gewebte; ein gedrehtes Seil von etwa 1 Zoll Dicke trägt schon, ohne zu reißen, an 3000 ℔, und von den sehr vielen einzelnen Schnüren, aus welchen die 4 bis 5 Zoll dicken Ankertaue zusammengesetzt sind, kann jede 160 ℔ tragen. Getheerte Seile sind nicht so stark als ungetheerte; man theert sie nur zum Schutz gegen den Einfluß des Wassers und der Luft. Ein seidener Faden zeigte mehr Stärke, als ein leinener, und dieser war ungebleicht stärker als gebleicht. Ein Menschenhaar, besonders ein blondes, zeigte mehr Stärke, als ein gleich dickes Pferdehaar.

So nützlich aber auch diese Versuche in technischer Hinsicht sind, wobei man jedoch, bei praktischen Anwendungen, für Metalle etwa nur die Hälfte, für Hölzer ein Drittel der Versuchsresultate als verlässig annehmen kann, so sind sie doch keineswegs als ein erschöpfendes Maß für die eigentliche Größe der Cohäsionskraft zu betrachten, weil die Körper, ehe sie reißen, sich erst dehnen, und da das Vermögen zur Dehnung bei verschiedenen Körpern auch in sehr verschiedenen Graden vorhanden ist, so haben Körper, die anfänglich gleich dick waren, nicht mehr gleiche Dicke, in dem Augenblick, wo sie zu reißen beginnen. Wenn daher ein Metallstäbchen durch eine gewisse Kraft reißt, während ein anderes von gleicher Dicke schon durch die Hälfte dieser Kraft seine Cohäsion verliert, so ist nur in dem Fall die Cohäsion des ersten für noch einmal so groß zu halten, als die des zweiten, wenn beide einen gleichen Grad von Dehnbarkeit besitzen; ist dieses nicht, so reißen sie in ungleicher Dicke, und dann ist das Maß ihrer verschiedenen Cohäsion nicht mehr im genauen Verhältniß der Gewichte, die zu dem Zerreißen erforderlich waren. Bedenkt man übrigens, daß es auch noch andere Umstände gibt, die auf die Haltbarkeit eines Körpers großen Einfluß haben, daß z. B. ein Metallstäbchen in verschiedenen Wärmegraden auch eine verschiedene Dehnbarkeit und Haltbarkeit besitzt, und wie sehr es auf die Bearbeitung des Körpers, dessen man sich zu dem Versuche bedient, mit ankommt, so sieht man bald ein, daß die Bestimmung eines Maßes für die Cohäsionskraft von Umständen abhängt, die dem Menschen den Zutritt zur genauen Erforschung ungemein erschweren, ja unzugänglich machen müssen. Man darf sich daher auch nicht wundern, daß der angestellten Versuche ungeachtet, dennoch, selbst für Körper von gleicher Materie, kein Schluß von den Resultaten, die für kleine Körper sich ergeben haben, auf sehr viel größere Körper gemacht werden kann. Ein Eisendraht, der eine Quadratlinie im Durchschnitt hatte, riß durch 490 ℔; eine eiserne Stange, deren Durchschnitt 350 Quadratlinien ist, sollte daher verhältnißmäßig erst durch $490 \times 350 = 171500$ ℔ reißen, allein sie riß schon durch 17300 ℔, also durch ein fast zehnmal geringeres Gewicht.

Digitized by Google

Außer der absoluten Cohäſion, die, wie man geſehen hat, von der Gewalt abhängt, durch welche ein Körper ſeiner Länge nach von einander geriſſen werden kann, äußern die feſten Körper auch dem Druck Widerſtand, der ſenkrecht auf ihre Länge wirkt, während dieſe eine horizontale Lage hat. Durch einen ſolchen Druck werden die Körper zerbrochen, und die Cohäſion, durch die ein feſter Körper dem Zerbrechen widerſtehet, wird die reſpective oder relative Cohäſion genannt.

Um den verſchiedenen Grad auch von dieſer Cohäſion kennen zu lernen, haben mehrere Naturforſcher ebenfalls Verſuche angeſtellt. Der Körper, deſſen reſpective Cohäſion man prüfen will, wird entweder an einem, oder an beiden Enden in horizontaler Lage befeſtiget, oder er ruhet in dieſer Lage auf einer an beiden Enden angebrachten Unterſtützung. Der berühmte Naturforſcher Büffon hat, nebſt vielen Andern, neuerlich Eytelwein und der Engländer Tredgold, hierüber vorzügliche Verſuche mit großen Balken angeſtellt, deren Reſultate eine beſondere Wichtigkeit für das Bauweſen haben. Von zwei Balken deſſelben Holzes, die gleich dick und breit ſind, aber verſchiedene Länge haben, bricht der längere, unter gleichen Umſtänden, eher als der kürzere; iſt er noch einmal ſo lang, ſo bricht er ſchon von der Hälfte, iſt er dreimal ſo lang, ſo bricht er ſchon von einem Drittel der Laſt, woraus folgt, daß die reſpective Cohäſion ſich überhaupt umgekehrt wie die Länge der Balken verhält. Sind die Balken gleich lang und dick, aber in der Breite verſchieden, ſo trägt der breitere mehr als der, deſſen Breite geringer iſt; bei einer noch einmal ſo großen Breite trägt er doppelt, dreimal breiter, trägt er dreimal ſo viel, woraus folgt, daß die reſpective Cohäſion der Balken ſich verhalte, wie ihre Breite. Von zwei Balken, die gleich lang und breit ſind, die aber eine verſchiedene Dicke habe, trägt der dickere mehr als der dünnere; iſt er noch einmal ſo dick, ſo trägt er viermal, iſt er dreimal dicker, ſo trägt er neunmal ſo viel, woraus folgt, daß die reſpective Cohäſion der Balken ſich verhalte, wie das Quadrat ihrer Dicke.

Unter gleichen Umſtänden leiſtet ein horizontaler Balken den größten Widerſtand, wenn er an beiden Enden eingefügt iſt, weniger, wenn er an beiden Enden bloß unterſtützt iſt, noch weniger, wenn er nur an einem Ende eingefügt iſt. Was er im letzten Falle einmal trägt, kann er im zweiten Falle doppelt, und im erſten Falle vierfach tragen. Auch leiſtet er in allen Fällen mehr Widerſtand, je mehr ſeine Lage von der horizontalen abweicht, und ſich der verticalen nähert.

Wie nun die Beſtimmung der abſoluten Cohäſion, durch den Einfluß der ungleichen Dehnbarkeit, nicht genau erreicht werden kann, ſo iſt es auch bei der Beſtimmung der reſpectiven Cohäſion. Bei dieſer muß das Vermögen eines Körpers, ſich zu biegen und zu krümmen, das allemal dem Bruche vorausgeht, mit in Anſchlag kommen, und dabei iſt, außer dem Volumen und der darin enthaltenen Maſſe, auch noch auf die eigenthümliche Geſtalt des Körpers und ſein inneres Gefüge zu ſehen.

Sucht man einen vertical aufgerichteten Körper, der auf einer Unterlage ruhet, die nicht ausweichen kann, durch eine aufgelegte Laſt zu zerdrücken, ſo wird der Widerſtand, den er hier zu leiſten vermag, ſeine rückwirkende Cohäſion genannt. Dieſe richtet ſich bei Körpern von gleicher Materie, nach der Länge, Breite und Dicke derſelben, und hängt dabei ſehr von der Form ab. Iſt dieſe pyramidaliſch oder kegelförmig, ſo hat der Körper, unter ſonſt gleichen Umſtänden, eine größere rückwirkende

Digitized by Google

Cohäſion, als bei einer cylindriſchen oder prismatiſchen Form, ſo wie bei der prismatiſchen Form dieſe Cohäſion größer iſt, wenn die Grundfläche ein vollkommenes Quadrat bildet. Ein hohler Cylinder, der mit einem ſoliden aus gleicher Materie beſtehet, und gleichviel Maſſe hat, beſitzt eine größere rückwirkende Cohäſion, als der ſolide. Eine ſolide eiſerne Stange kann daher nicht ſoviel Druck aushalten, als dieſelbe Eiſenmaſſe zu ertragen vermag, wenn ſie zu einem hohlen Cylinder verarbeitet wird. Iſt der Körper aus mehreren einzelnen Stücken zuſammengeſetzt, ſo kann er, unter ſonſt gleichen Umſtänden, nicht ſo viel Laſt tragen, als wenn er aus einem einzigen Stücke beſtehet. Daher eine Säule aus einem Stücke weit ſtärker iſt, als eine eben ſolche Säule, die aus mehreren Stücken beſtehet. Sind die Materien der Körper verſchieden, ſo kommt es auch noch auf den Grad der Biegſamkeit und des innern Gefüges mit an.

Durch Bearbeitung kann die Cohäſion eines Körpers erhöhet und vermindert werden. So werden wollene Tücher ſtärker durch das Walken, weil dadurch die Flächenanziehung vermehrt wird. Metalle werden durch Hämmern und Schlagen feſter, wenn gewiſſe Gränzen dabei nicht überſchritten werden; dauert das Hämmern und Schlagen zu lange und iſt es zu heftig, ſo wirkt es entgegengeſetzt, und vermindert die Cohäſion. Durch mäßiges Hämmern kann das Silber ſeine Cohäſion verdoppeln; Blei, das man plättet oder walzt, vergrößert ſeine Cohäſion um das Vierfache, und gewalztes Meſſing iſt wohl dreimal ſtärker als ungewalztes. Steine, die man glühet, und dann ſchnell in kaltem Waſſer ablöſcht, verlieren bedeutend an Cohäſion. Auch durch Verbindung eines Körpers mit einem andern kann die Cohäſion verändert, bald größer, bald geringer, werden. Viele Metalle bekommen durch Vermiſchung mit einem andern Metalle (Beſchickung, Legirung, Verſetzung) eine größere Cohäſion. Um den Granit, auf dem die Statüe Peter des Großen ruhet, zu Lande fortzuwälzen, bediente man ſich erſt eiſerner Walzen, allein ſie brachen unter ſeiner ungeheuren Laſt und es gelang erſt mit Kugeln, die aus Kupfer und Zink gegoſſen waren. Silber und Gold werden in den Münzſtätten und bei ſonſtiger Verarbeitung mit andern Metallen legirt, um ihr Dauerhaftigkeit zu vergrößern.

§ 25. (Modificationen der Cohäſion.) Nach der materiellen Beſchaffenheit der Körper zeigt ſich auch die Cohäſion noch in mancherlei Verſchiedenheiten, aus welchen ſich hinwieder viele beſondere Eigenſchaften der feſten Körper erkennen laſſen. Manche laſſen ſich mit einem Hammer zerſchlagen, widerſtehen aber dem Feilen, Sägen und Schneiden; dieſe nennt man *harte* Körper. Andere laſſen eine Verſchiebung ihrer Theile zu, behalten aber dabei ihren Zuſammenhang, und werden *weiche Körper* genannt. Geht ſchon bei leichter Verſchiebung der Zuſammenhang verloren, ſo ſind es *mürbe* Körper. *Biegſam* heißen ſie, wenn die Lage ihrer Theile auf eine oder mehrfache Weiſe abgeändert werden kann, ohne daß der Zuſammenhang davon aufgehoben wird. Ein ſehr hoher Grad von Biegſamkeit wird auch *Zähigkeit* genannt. Körper aber, welche keine Biegſamkeit geſtatten, heißen *zerbrechliche*, uns dieſe werden *ſpröde* genannt, wenn ſie ſchon bei einer geringen Biegung zerbrechen. Körper, die durch heftige Schläge ausgedehnt werden können, dabei aber ihren Zuſammenhang behalten, heißen *dehnbar*. Beſitzen ſie die Eigenſchaft, ſich ſehr in die Länge ziehen zu laſſen, ſo werden ſie *ſtreckbar* genannt. *Geſchmeidig* heißen Körper, die ſich leicht zu jeder Form bequemen, und *ſchmierig*

Digitized by Google

heißen sie, wenn sie zugleich auch in die Vertiefungen der Oberflächen der sie umgebenden Körper eindringen.

Man sieht leicht ein, daß alle diese und noch manche andere Eigenschaften, die wir an den festen Körpern zu bemerken Gelegenheit haben, in den Werkstätten der Natur nicht vereinzelt dastehen, und daß ein Körper nicht nur mehrere von ihnen zugleich besitzen, sondern sie auch nach Umständen abändern kann. So gehören viele Steinarten, und unter ihnen der Diamant im vorzüglichsten Grade, zu den harten Körpern. Aber auch die Metalle und das Glas gehören in die Klasse dieser Körper, doch haben die Metalle auch Biegsamkeit, Dehnbarkeit und Streckbarkeit, das Glas hingegen ist spröde. Trockner Ton ist mürbe, feuchter hingegen ist weich. Butter, in dem gehörigen Wärmegrad, ist zugleich auch geschmeidig und schmierig. Wie sehr ein Körper mit der Form auch seine Eigenschaft ändert, zeigt sich unter Anderm auch am Glase, das in langen, sehr dünnen Fäden seine Sprödigkeit verliert und biegsam wird. Die Bürsten und Federn, die aus sehr feinen Glasfäden zusammengesetzt werden, lassen sich nach Belieben hin- und herbiegen, ohne zu zerbrechen. Anders verhält es sich mit dem Glastropfen (der Glasthräne) und der Bologneser Flasche oder dem Springkölbchen, die ungemein spröde sind. Die Glastropfen (Fig. 1) sind birnförmig und haben einen langen, sehr dünnen Stiel, dessen Ende eine noch dünnere Spitze ist. Man verfertigt sie, indem man von der flüssigen, ungeheuer heißen Glasmasse, vermittelst eines eisernen Stabes, Tropfen in sehr kaltes Wasser fallen läßt, in welchem sie so lange gelassen werden, bis sie mit dem Wasser ziemlich gleiche Wärme erlangt haben. Durch den plötzlichen Uebergang aus sehr großer Hitze in große Kälte ziehen die Theile, die den Tropfen bilden, sich so fest und innig zusammen, daß man, nachdem er sich gehörig verkühlt hat, seinem birnförmigen Theil Hammerschläge versetzen kann, ohne die Cohäsion des Tropfens dadurch nur im Mindesten zu stören. Zugleich aber auch erhalten die fadenartigen Theile, die in des Tropfens Spitze sich vereinigen, einen solchen hohen Grad von Spannung, daß die geringste Vergrößerung derselben den Tropfen auseinander stäubt. Hält man nun den Glastropfen (vorsichtshalber) in hohler Hand, während man mit der andern die feine Spitze abbricht, so löst er sich augenblicklich in Staub auf, weil der Körper die vermehrte Spannung und die Erschütterung aller seiner Theile, die durch den Abbruch der Spitze erregt worden ist, nicht weiter auszuhalten vermag. Gleiche Bewandtniß hat es mit den Glaswürmern (Fig. 2), die ungefähr eben so wie die Glastropfen verfertigt werden.

Fig. 1.

Fig. 2.

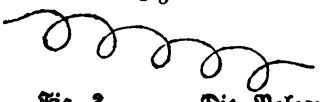
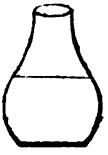


Fig. 3.



Die Bologneser Flasche ist ein kleines unansehnliches Fläschchen aus weißem Glase (Fig. 3). Auch dieses wird durch plötzliche Abkühlung ungemein spröde, jedoch in einem geringern Grade als der Glastropfen, weil die Abkühlung etwas allmählicher und in freier Luft geschieht. Der Boden des Fläschchens ist so stark, daß er eine schwere metallne Kugel zu tragen und harte Schläge auszuhalten vermag, während

Digitized by Google

er von dem Splitterchen eines Feuersteins, oder von einigen Sandkörnchen, die man in dem Fläschchen einige Augenblicke hin- und herrüttelt, hinausgeschleudert wird, und das Fläschchen Sprünge bekommt. Auch dieses ist eine Folge der übermäßigen Spannung, in welcher die Theile des Fläschchens sich befinden. Durch den kleinen Ritz, den das Feuersteinchen oder die Sandkörnchen machen, wird das Fläschchen dermaßen erschüttert, daß seine Theile in eine noch größere Spannung gerathen, die sie nicht mehr aushalten können.

Die außerordentliche Sprödigkeit dieser Körper kann aber dadurch wieder beseitigt werden, wenn man sie über Kohlfeuer durch und durch erhitzt, und sie dann allmählich wieder abkühlen läßt, wodurch ihre übermäßige Spannung verloren geht und eine kleine Erschütterung die Theile nicht mehr so gewaltsam auseinander treiben kann.

§ 26. (Elastizität.) Viele feste Körper, die durch Druck, Stoß oder Schlag zusammengepreßt, oder durch Zug ausgedehnt worden sind, behalten ihre veränderte Gestalt bei, wenn auch die Kraft, die dieses bewirkte, aufgehört hat. Diese Eigenschaft findet sich an weichem Wachs, feuchtem Thon, frischem Teig, Butter, Blei, überhaupt an allen zähen oder ductilen Körpern.

Andere Körper aber kehren von selbst mehr oder weniger auf ihr voriges Volumen und ihre vorige Gestalt wieder zurück, wenn die Kraft nachläßt, welche diese ganz oder theilweise geändert hat. Diese Eigenschaft nennt man Elastizität, Federkraft, Schnellkraft, Spannkraft, Springkraft. Ein Schwamm, den man zusammendrückt, ein Streifen Fischbein und Federharz, den man ausdehnt, eine Degenklinge, die man beugt, eine gewundene Uhrfeder, die man auszieht, dünne Stäbchen, die gedreht werden, zeigen diese Eigenschaft, und gehören mit noch vielen andern Körpern den elastischen an. Auch die Luft nennt man elastisch, absolut oder permanent elastisch; ist sie z. B. in einer zugebundenen Blase eingesperrt, so leistet sie nicht nur dem Druck Widerstand, sondern dehnt sich auch nach Beseitigung des Druckes, augenblicklich wieder in den größern Raum aus, den sie zuerst inne hatte. Da aber der Luft, wie überhaupt allen luftförmigen Körpern (Gasarten und Dämpfen), die Eigenschaft sich wieder zusammen zu ziehen, wenn eine mechanische Kraft sie ausgedehnt hat, gänzlich abgeht, so können, genau genommen, diese Körper nicht zu den elastischen gezählt werden. Man nennt sie dagegen expansibel oder ausdehnsam, weil sie das Bestreben haben, sich immerfort in einem größern Raume auszudehnen.

Die Elastizität ist wohl allen festen Körpern gemein. Manche besitzen sie aber in einem so sehr geringen Grade, daß wir sie kaum bemerken, z. B. weiches Wachs, feuchter Thon. Diese gelten dann als unelastisch, als nicht federhart, und nur solche Körper, die diese Eigenschaft in einem bedeutenden Grade zeigen, werden als elastische, als federharte, betrachtet. Vollkommen federhart würde derjenige feste Körper seyn, der immer wieder zu seinem vorigen Volumen und seiner vorigen Gestalt vollkommen zurückgeht. Ein solcher Körper kann aber in der Erfahrung nicht nachgewiesen werden, und wie groß auch die Elastizität eines festen Körpers seyn mag, so wird er doch, wenn die äußere Kraft zu lange wirkt, und zu stark ist, nicht wieder zu der vorherigen Lage seiner Theile gelangen, und durch zu starke Biegung endlich brechen müssen. Eine Uhrfeder, die zu lange in gespannter Lage bleibt, Federharz, das zu oft und zu lange ausgedehnt wird, kehren nicht wieder in ihre vorige Lage zurück, und eine Degen-

Digitized by Google

klinge, die zu stark gebogen wird, bricht endlich entzwei. Daher es in der Natur eben so wenig einen festen Körper gibt, der vollkommen elastisch ist, als sich ein völlig unvollkommener findet.

Zu denen, bei welchen die federharte Elastizität in einem hohen Grade sich findet, gehören unter mehreren folgende:

1) Das Federharz (Caoutchuc, Kautschuk, gewöhnlich Gummi-Elasticum genannt). Die Hevea, ein 50 bis 60 Fuß hoher Baum, der in Brasilien und Guyana zu Hause ist, und einige Gattungen von Feigenbäumen in Ostindien liefern, durch Einschnitte, aus dem Stamme und den Aesten einen milchartigen Saft, in welchen man thönerne Formen eintaucht, die man erst an der Luft verdicken, dann in einem Rauchfang trocknen läßt. Hierauf löst man den Thon in Wasser auf, und erhält dadurch die Materie, die man das Federharz nennt, in flaschenartiger Gestalt, in welcher sie in den Handel kommt. Man kann ein kleines Stückchen dieses Harzes sehr in die Länge dehnen, ehe es zerreißt, oder aufhört, seinen vorigen kleinern Raum wieder einzunehmen, wenn es nicht weiter daran gehindert wird. Wirft man einen Federharzballen gewaltsam auf einen festen Boden, so springt er mehrmals auf und ab. Einen kleinen Federharzring kann man so ausdehnen, daß er über die Hand paßt. Bei dieser großen Ausdehnung verliert er aber die Fähigkeit, nachher wieder zu seiner vorigen kleinen Gestalt zu gelangen.

2) Viele Metalle. Unter ihnen hat der Stahl die größte Elastizität. An Stahlfedern, die man zu gepolsterten Stühlen gebraucht, an Uhrfedern, Degenklingen und vielen andern Gegenständen, zu denen man Stahl verwendet, kann man sich von dem hohen Grad seiner Elastizität überzeugen. Schon durch bloßes Hämmern erlangt weiches Eisen, erlangen viele andere Metalle Elastizität, noch mehr aber durch schickliche Mischungen. Das Glockengut, aus Kupfer, Zinn und Zink bestehend, hat diese Eigenschaft in hohem Grade. Mit der Dichtigkeit der Metalle steht indeß diese Eigenschaft in keinem Verhältniß, denn Kupfer und Eisen sind elastischer, als Gold und Blei, die doch viel dichter sind, aber nur wenig Elastizität besitzen.

3) Das Glas. Mittelst eines dazu eingerichteten Werkzeuges werden gläserne Röhrchen durch Lampenfeuer geschmolzen und zu sehr feinen Fäden gesponnen. In diesem Zustand ist das Glas nicht nur von seiner Sprödigkeit befreit, sondern auch von solcher Elastizität, daß man aus diesen Fäden Federbüsche, Bürsten, Stricke, Blumenkörbchen und dergl. verfertigen kann. Wie man auch einen solchen Federbusch, eine solche Bürste biegen mag, so zerbricht doch keiner ihrer Fäden, sondern sie springen immer von selbst wieder in ihre vorige Lage zurück. Auch durch zu schnelles Abkühlen kommt das Glas in einen solchen Zustand von Spannung und Elastizität, daß die geringste Erhöhung derselben es auseinander treibt, wie dieses die Glastropfen und die Bologneserflaschen zeigen.

4) Das Elfenbein. Elfenbeinerne Kugeln, die gegeneinander rennen, werden an der Stelle, wo sie zusammentreffen, eingedrückt und prallen zurück, stellen aber in dem Augenblick ihre Gestalt wieder her. Läßt man eine elfenbeinerne Kugel auf eine gut polirte Steinplatte, etwa eine Marmorplatte, ziemlich hoch herabfallen, und hat man diese Platte vorher über einer Oellampe ein wenig schwarz anlaufen lassen, so drückt die Kugel, indem sie zurückschnellt, einen großen kreisförmigen Flecken ein. Man kann aus diesem Versuche den Schluß ziehen, daß die Kugel an dem Auffallpunkt eingedrückt, mithin nach andern horizontalen Punkten hin ausgedehnt worden ist, daß sie aber ihre vorige Gestalt so schnell wieder

Digitized by Google

hergestellt hat, daß wir an der Kugel selbst keine dieser Veränderungen wahrnehmen konnten.

5) Das Holz. Dünne Stäbe, Gerten, Ruthen sind mehr oder weniger elastisch, man kann dieses schon an einem Besen sehen. Spanisches Rohr ist schon sehr elastisch.

6) Seile und Stricke. Der Seiltänzer benutzt die Elastizität derselben bei seiner gefährlichen Kunst, denn so wie er durch einen Sprung das Seil niederdrückt, schnellt ihn dieses wieder zurück. Darum bedient man sich auch der Seile und Stricke zum Spannen und Festknebeln, weil ihr Bestreben, ihren vorigen Raum wieder einzunehmen, besonders geschickt ist, Körper fortzuschleudern, anzuspannen und festzuhalten. Darauf gründete sich auch die Einrichtung der Armbrust, und das Geschütz der Alten, die Katapulten und Ballisten, wo man vermittelst Stricke oder Sehnen, die durch eigene Vorrichtungen angespannt wurden, ungeheure Balken und Steine weit wegschleudern und in starke Mauern Bresche schießen konnte.

7) Frisches Brod gehört in seiner gewöhnlichen Form so wenig zu den elastischen Körpern, daß man seine Krume wie Teig kneten und in allerlei bleibende Gestalten bringen kann. Bildet man aber aus der Krume eines frischen Schwarzbrodes einen sternförmigen Körper, eine Art spanischer Reiter, so kann man diesen mit außerordentlicher Gewalt gegen eine harte Wand oder den Boden schleudern, ohne daß der Stern zerbricht oder nur im Mindesten platt gedrückt erscheint, obschon er durch die Gewalt, womit er hingeschleudert ward, gewiß eingedrückt worden war.

Die Frage, worin das Wesen der Elastizität bestehe, fällt wahrscheinlich mit der Frage über die Cohäsion zusammen, und kann daher, so wie diese, schwerlich jemals zuverlässig genau erforscht werden. Nur so viel läßt sich über diese merkwürdige Eigenschaft sagen, daß sie, namentlich bei den festen Körpern, auf der Lage der kleinsten Theilchen und ihrer gegenseitigen Anziehung aufeinander beruhe. Die beträchtliche innere Kraft, mit welcher die Theile eines Körpers aneinander hängen, ist doch, der Erfahrung gemäß, allemal so beschaffen, daß durch eine äußere Kraft die natürliche Lage, welche die Theile gegen einander haben, bei dem einen Körper mehr, bei dem andern weniger, eine Veränderung, eine Verdichtung oder Verdünnung erleiden kann, und diese kann von der Art seyn, daß der erste Zustand des Körpers, wo nicht völlig, doch mehr oder weniger theilweise sich wieder herstellt, wenn die äußere Kraft zu wirken aufhört.

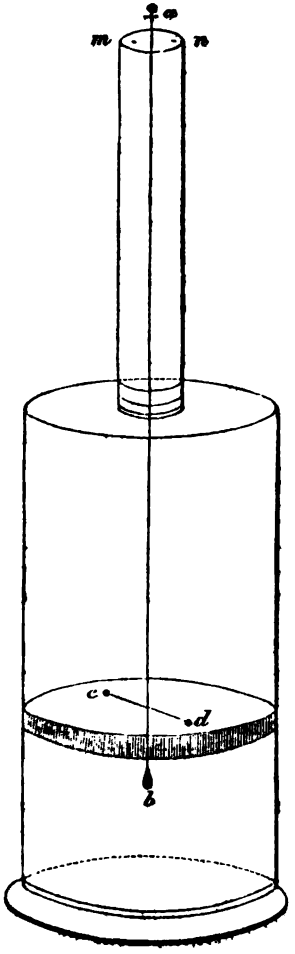
Der Widerstand, den ein elastischer Körper der Kraft entgegensetzt, die ihn zusammenzudrücken, zu biegen, auszudehnen oder zu drehen strebt, ist zwar allemal dieser Kraft proportional, allein er hat für jeden individuellen Körper eine gewisse Gränze. Geht aber die einwirkende Kraft, mit anhaltender Gewalt, über diese Gränze hinaus, oder wird sie zu oft angewendet, so wird dadurch endlich die Cohäsion des Körpers nach und nach, und mit zunehmender Geschwindigkeit, zerstört. Aus diesem Gesetz, welches in dem Maschinenwesen vielfache Anwendung findet, erklärt sich z. B. auch, warum ein Geschütz, das überladen wird, wenn auch nicht beim ersten Schuß, doch bei wiederholten Schüssen Risse bekommt, und ein zu sehr beschwerter Balken bei anhaltender Biegung endlich brechen muß. Hört aber der Druck der Last früher auf, oder geht er zu immer andern Stellen über, ehe der tragende Theil so tief herabsinken kann, als zum Zerbrechen erforderlich ist, so kann ein Körper auch über seine Tragkraft hinaus beschwert werden, woher es denn auch kommt, daß man über Eis, das noch nicht ganz fest ist, über dünne Bretter ꝛc. hinlaufen kann, ohne einzubrechen.

Digitized by Google

Viele feste Körper, die einen hohen Grad von Elastizität besitzen, kommen in ihre ursprüngliche Lage vermittelst einer Reihe sichtbarer Schwingungen zurück, in die sie bei Nachlassung der äußern Kraft geraten, die ihrer Federkraft entgegentrat. Analogisch lassen sich solche Schwingungen aber auch da vermuthen, wo sie nicht gesehen werden können. Elastische Stäbe, Fischbeine, die gebogen, Saiten, die gespannt, Drähte, die ausgedehnt sind, zeigen alle solche Schwingungen; warum sollten sie nicht auch bei elfenbeinernen Kugeln, die aneinander rennen, vorhanden seyn, obschon wir sie hier nicht sehen können?

Die besonders vielfachen Schwingungen, die ein Metalldraht macht, wenn er gedrehet, und dann wieder losgelassen wird, hat Coulomb zu einem Instrument angewandt, welches überhaupt geschickt ist, ein Maß für kleine Kräfte abzugeben, indem es dazu dient, diese Kräfte gleichsam zu wägen. Das Instrument führt darum auch den Namen Drehwage.

Fig. 4.




Die Drehwage (Fig. 4) besteht aus einem lothrechten Metallfaden a b, dessen eines Ende a fest gemacht ist; das Knöpfchen, das den Faden hält, hat einen Zeiger. Am andern Ende b sitzt ein kleines Gewicht, das den Faden angespannt hält. An diesem Ende befindet sich auch eine horizontale Nadel c d. Sowohl oben am Zeiger, als unten an der Nadel ist ein in Grade getheilter Kreis angebracht. Will man irgend eine kleine Kraft durch diese Wage messen, so drehet man den Faden vermittelst des Knöpfchens, und bemerkt die Menge der Drehungen durch die Grade am Zeiger. Die Kräfte, die man messen will, läßt man auf das Ende der Nadel wirken. Der Winkel, unter welchem diese alsdann von der horizontalen Lage abweicht, ist das Maß, das die Größe der zu messenden Kraft angibt. Die Drehwage kann zu mancherlei Versuchen benutzt werden, hier sei nur die Rede davon, wie man durch sie den verschiedenen Grad der Federkraft erkennen kann, besonders den der Metalle. Werden nämlich Fäden verschiedener Metalle, die eine gleiche Länge und gleiche Dicke haben, in die Wage eingesetzt und gleich stark gedreht, wozu der Zeiger als Angeber dient, so werden sie, nach Maßgabe ihrer Federkraft, mehr oder weniger Schwingungen machen, bis sie, bei nachlassender Drehung, wieder in den ruhigen Stand zurückkehren. Die Menge dieser Schwingungen läßt sich aber an dem Bogen erkennen, den die Nadel jedesmal dabei beschreibt, bis sie wieder in ihre horizontale Lage hineinkommt, die sie durch die Drehung verlieren mußte. Je größer nun dieser Bogen ist, desto verhältnißmäßig größer ist auch die Federkraft des Metallfadens.

Digitized by Google

Damit die Luft die Bewegung der Nadel nicht störe, hält man die ganze Vorrichtung luftdicht unter einem Glaskasten verschlossen.

§ 27. (II. Adhäsion.) Nicht nur die Theile eines in sich zusammenhängenden gleichartigen Körpers ziehen sich einander an, auch zwischen seinen von einander getrennten Theilen, und auch zwischen den Theilen zweier ungleichartigen Körper, zeigt sich vielfach eine, der Cohäsionskraft sehr ähnliche Molekular-Anziehung. So hängen getrennte Theile eines festen Körpers wieder zusammen, wenn ihre Oberflächen sich berühren, jedoch nur sehr lose, wenn die Berührungsflächen rauh und uneben sind, und wenig Berührungspunkte haben. Zwei trockne Glasplatten, von gewöhnlichem Fensterglase, hängen, wenn man sie aufeinander legt, nur schwach zusammen, weil sie uneben sind, und nicht genugsam sich berühren können. Sind aber die Oberflächen glatt und eben genug, so hängen die getrennten Theile eines Körpers immer um so stärker wieder zusammen, in je mehr Punkten sie sich alsdann berühren können. Zwei reine ebene Glasplatten, zwei Metallplatten, die gut geschliffen sind, zwei gut polirte Steine, zwei geebnete bleierne Halbkugeln, zwei gut geebnete Holzflächen, erfordern, wenn sie gehörig aneinander gedrückt werden, eine bedeutende Kraft, um sie wieder zu trennen.

Noch vollkommner zeigt sich dieses bei flüssigen Körpern, die in Berührung kommen. Diese gehen dann auch augenblicklich in eins zu einander über. So gesellt sich ein Tropfen Wasser, Oel, Queckſilber momentan zu einem andern in seiner Art, so wie er ihn berühret.

Dieselbe Anziehung findet häufig auch zwischen den Theilen ungleichartiger Körper Statt. So bleibt feiner Staub an senkrechten Wänden und wagerechten Decken hängen, und kleine Wassertröpfchen fallen von der untern Fläche einer wagerechten Glas- oder Holztafel nicht ab.

Dergleichen Erscheinungen nennt man Adhäſionen, Anhaftungen, Anhängungen, und die völlig unbekannte Grundkraft, die dabei im Spiele ist, wird die Adhäſionskraft genannt.

Adhäsion ist auch das Anhängen flüssiger Körper an feste, wodurch diese naß werden, wenn anders der feste Körper die Theile des flüssigen Körpers stärker anzieht, als diese unter sich selbst cohäriren, im entgegengesetzten Falle aber bleibt der feste Körper trocken.

Hieraus sind nun folgende Erscheinungen leicht zu erklären:

1) Wasser, Weingeist und viele andere flüssige Körper adhäriren mit dem menschlichen und vielen andern thierischen Körper, mit Holz, gerosteten Metallen, Steinen, Glas, Papier, Seilen und noch einer Menge anderer Dinge, und machen sie naß.

2) Queckſilber hat weniger Adhäsion zum menschlicher Körper, zum Holz, Eisen, Glas und zu vielen andern Dingen, als es Anziehung zu seinen eigenen Theilen hat. Alle diese Körper bleiben daher auch trocken, wenn sie mit Queckſilber in Berührung kommen. Man kann daher Queckſilber in eine leinene Tasche gießen, ohne daß es durch sie herausfließt, wenn man die Tasche nicht drückt. An Blei und Zinn hingegen haftet Queckſilber sehr fest, auch an Gold, Silber und noch anderen Metallen, weil hier der umgekehrte Fall stattfindet.

3) Wasser hat nur geringe Adhäsion zu polirten Metallen, und fast keine zu fettigen und staubigen Körpern. Daher die Blätter mancher Pflanzen, die fettigen Federn der Wasservögel, vom Wasser nicht naß werden. Mit fettiger Hand kann man in Wasser greifen, ohne sie naß

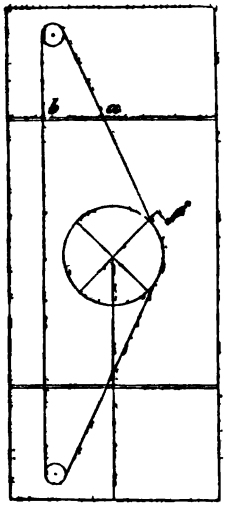
Digitized by Google

zu machen. Bestreuet man die Oberfläche des Wassers mit Bärlappsamen (Hexenmehl, semen lycopodii), so kann man, ohne nur im mindesten naß zu werden, in das Wasser hineingreifen, und in ein leinenes Tuch, das mit diesem Samen bestreuet ist, kann man Wasser gießen, ohne daß es heraus fließt.

Auch noch viele andere flüssige Körper adhäriren nicht mit fettigen. Darum kann man mit Dinte nicht schreiben, wenn das Papier fettig ist. In der Steindruckerei wird daher auch der Stein so behandelt, daß die Druckerschwärze nur mit den Stellen im Steine adhärirt, die zum Abdruck kommen sollen, während sie mit allen übrigen Stellen des Steins, zumal diese noch eigens dazu benetzt werden, gar nicht adhärirt.

4) Durch die Vera'sche Seilmaschine (Funicularmaschine) kann man die Wirkung von der Adhäsion des Wassers zu Stricken ziemlich im Großen sehen. Diese Maschine (Fig. 5), die den Namen ihres Erfinders (Vera) trägt, bestehet aus einem obern und untern Behälter, die durch eine Brettenwand, oder durch Latten mit einander verbunden sind. In dem untern Behälter befindet sich ein Gestelle, das ein Rad trägt, um welches ein nicht zu dicker und zu steifer Strick geschlungen ist, der zugleich über eine Rolle im untern und eine Rolle im obern Behälter geht. Füllt man den untern Behälter mit Wasser an, und dreht das Rad, vermittelst der daran angebrachten Kurbel, sehr schnell um, so schleppt der Strick das Wasser des untern Behälters in den obern hinein, weil die Wassertheile, die an ihm in großer Menge haften bleiben, durch das schnelle Umdrehen nicht Zeit zum Abfallen haben. Am Boden des obern Behälters müssen zwei Löcher seyn; bei a eines, durch welches das Seil, und ein anderes bei b, durch welches das Seil mit dem Wasser daran geht, ohne sich abzustreifen. Der untere Behälter kann auch ganz offen, oder mit großen Löchern gemacht werden, um ihn in ein anderes Gefäß mit Wasser stellen zu können, das man durch die Maschine in den obern Behälter schaffen will, um es von hier aus, durch eine angebrachte Röhre, ablaufen zu lassen.

Fig. 5.




5) Werden zwei feste Körper durch einen zwischen sie gelegten flüssigen Körper, der mit ihnen adhärirt, mit einander verbunden, so erhangen die festen Körper einen bedeutenden Zusammenhang. Wird der zwischenliegende flüssige Körper nach und nach fest, so wird dieser Zusammenhang mehre Cohäsion. Darauf beruhet das Leimen, Kitten, Löthen, Vergolden, Verzinnen, Verlacken, das Belegen der Spiegel und viele andere Vorrichtungen, wodurch feste Körper mit einander verbunden werden. Zum Belegen oder Foliiren der Spiegel bedient man sich eines Amalgama aus Stanniol (dünnen Zinnblättchen) und Queckſilber. Beide adhäriren einzeln nicht mit Glas, haften aber sehr fest daran, wenn sie sich vollkommen amalgamirt haben. Auf dieses Amalgama legt man Fließpapier, und auf dieses eine reine, ganz trockne Spiegelplatte. Nun wird das Papier, welches allen Schmutz vom Queckſilber eingesogen hat, langsam wieder weggezogen, die Spiegelplatte fest angedrückt, und das Amalgama



Digitized by Google

hängt über die ganze Platte fest mit ihr zusammen, und macht sie undurchsichtig.

Aber auch dann, wenn der zwischenliegende flüssige Körper nicht fest geworden ist, bewirkt er dennoch, im Fall er Adhäsion zu den festen Körpern hat, einen bedeutenden Zusammenhang. Zwei gut abgeschliffene Glasplatten, die man ein wenig anfeuchtet, hängen sehr stark aneinander; selbst Platten von gemeinem Fensterglase hängen in diesem Falle zusammen. Dasselbe erfolgt, wenn man Queckfilber zwischen zwei Bleiplatten oder Bleicylinder bringt. Daß zwei bleierne Halbkugeln auch ohne Zwischenmittel aneinander hängen, ist schon oben bemerkt worden; allein der Versuch gelingt nur, wenn die Flächen frisch geschnitten sind. Das Zusammenhängen wird hier durch Zusammendrehung bewirkt, und selbst wenn die Flächen nicht ganz eben sind, wird durch die Drehung bewirkt, daß die Erhöhungen und Vertiefungen des weichen Bleies in einander greifen und zusammen bleiben. Zwei eben polirte Marmorplatten hängen zwar schon für sich allein fest zusammen, sogar dann auch, wenn man einige sehr feine seidene Fäden dazwischen legt, allein der Zusammenhang wird ungemein stärker, wenn man die Platten etwas erwärmt, sie mit Talg beschmiert, aneinander drückt und abkühlen läßt. Sind die Platten nicht gar zu klein, so hängen sie alsdann so fest zusammen, daß ein Gewicht von einem Centner sie noch nicht auseinander reißt.

Das Anhängen des Staubes an feste Körper ist allemal um so inniger, je feiner er ist. Legt sich solcher auf Glas an, namentlich auf geringes Fensterglas, das angefeuchtet dem Sonnenschein ausgesetzt ist, so bildet sich auf dem Glase, wenn er fest geworden ist, ein Ueberzug, der in schönen Farben spielt, aber das Glas taub macht, und durch kein Reinigungsmittel mehr weggeschafft werden kann. Um dieses zu verhüten, müssen die Fensterscheiben stets rein gehalten, und dürfen, wenn die Sonne darauf liegt, nicht benetzt werden. Man kann diese schönen Farben erzeugen, wenn man Metallauflösungen, besonders salpetersaures Silber, auf Glas durch Kupfer niederschlägt, sachte abspült, sodann durch die Sonnenstrahlen einbrennen läßt. Bei feinern Glasarten, wie die Gläser in Fernröhren und Spiegel, sind diese Ueberzüge zwar dünner, aber nicht minder schädlich; sie zu verhüten, muß man diese Gläser öfters mit reiner, in Kalkwasser getauchter und getrockneter Leinwand abreiben.

Wie die Cohäsion der verschiedenen festen Körper, wird auch der Zusammenhang zweier festen Körper vermittelst eines adhärirenden dritten Körpers durch den Widerstand gemessen, den sie der senkrechten Trennung entgegensetzen.

Muschenbroek bediente sich hierzu Cylinder, die paarweise aus einerlei Materie verfertigt waren, und die alle einen Durchmesser von nicht ganz zwei Zoll (1,916 rheinische Zoll) hatten. Von jedem zusammengehörigen Paar bestrich er die Grundflächen, die er in Berührung brachte, auf einerlei Art mit erwärmtem Rindstalg, befestigte den obern in lothrechter Lage und riß, nach völligem Erkalten des Talges, den untern durch angehängte Gewichte senkrecht ab. Das Resultat dieser Versuche ergab, daß von einander losgerissen wurden: Cylinder von Eisen durch 300, Blei 275, Kupfer 200, Messing 150, Silber 125, Zinn 100, Wismuth 100, Zink 150, Glas 130, schwarzem Marmor 230, weißem Marmor 225, Elfenbein 108 ℔.

Muschenbroek, dem es nicht unbekannt war, daß der Druck der

Digitized by Google

Luft bei diesen Versuchen den Zusammenhang der Cylinder verstärken müsse, schlägt ihn durchgehends zu 41 ℔ an, und berichtigt hiernach die Resultate seiner Versuche, indem er jedes um 41 ℔ geringer annahm, z. B. die eisernen Cylinder zu 259 ℔ u. s. w.

Je mehr man die Grundflächen der Cylinder vergrößert, und je glätter und ebener sie sind, desto mehr wird sich auch der Widerstand vergrößern, den sie der Trennung entgegensetzen, weil sie alsdann in einer größern Anzahl Punkte sich berühren.

6) Hängt man einen festen Körper, der eine glatte und ebene Grundfläche hat, z. B. eine eben geschliffene Glasplatte, eine gut polirte Metall- oder Marmorplatte, an den Arm einer empfindlichen Wage auf, und setzt den andern Arm durch aufgelegte Gewichte mit der aufgehängten Platte in das Gleichgewicht, so wird man, wenn diese Platte mit einer Flüssigkeit in Berührung gebracht wird, dem andern Arm bedeutende Gewichtszulage machen müssen, um sie wieder von der Flüssigkeit loszureißen. Nach Parrot beträgt diese Gewichtszulage für jeden Quadratzoll Grundfläche 55 Gran, wenn man den Versuch mit Wasser anstellt, die Platte vorher erst etwas anfeuchtet, sie genau horizontal und genau über ihrer Mitte aufhängt. Baumöl zu dem Versuche genommen, erfordere $45\frac{1}{2}$ Gran, und Weingeist nur $33\frac{1}{2}$ Gran Gewichtszulage für jeden Quadratzoll Grundfläche. Diese Versuche, die für verschiedene Flüssigkeiten ein verschiedenes Resultat gaben, obgleich sie bei gleichem Luftdruck angestellt wurden, beweisen auch, daß der Zusammenhang des festen Körpers mit dem flüssigen bloß von der Adhäsion abhänge, und nicht von dem Druck der Luft, wie einige Naturforscher geglaubt haben. Polirte Zinnplatten, die er auf diese Weise mit Queckfilber in Berührung brachte, erforderten 497 Gran Gewichtszulage für jeden Quadratzoll.

Guyton Morveau untersuchte das Anhaften der Metallplatten an Queckfilber, und bediente sich hierzu gleich großer runder Platten, deren jede einen Zoll Durchmesser hatte. Das Losreißen erforderte eine Gewichtszulage: für Gold 446, Silber 429, Zinn 418, Blei 397, Wismuth 372, Zink 204, Kupfer 142, Spießglanz 126, Eisen 115, Kobold 8 Gran.

Größere Platten bieten der Flüssigkeit mehr Berührungspunkte dar, und erfordern eine verhältnißmäßige größere Gewichtszulage, um losgerissen zu werden. Dieses Verhaltniß läßt sich aber aus diesen Versuchen für den Fall nicht bestimmen, wo die Platte von der Flüssigkeit naß wird, weil ein Theil der Gewichtszulage auf die Aufhebung des Zusammenhangs der flüssigen Theile unter sich, die von der Platte mit fortgenommen werden, und sich von denen, die unter ihnen liegen, trennen müssen, verwendet werden muß. Wird aber die Platte von der Flüssigkeit nicht naß, so kann man annehmen, daß die Stärke, mit der sie an der Flüssigkeit haftet, nach Verhältniß ihrer Fläche zunehme. Erfordert in diesem Falle eine Platte von einem Zoll Durchmesser 600 Gran Gewichtszulage, um losgerissen zu werden, so wird eine eben solche Platte von zwei Zoll Durchmesser, also viermal so großer Fläche, für dieselbe Flüssigkeit, und unter sonst gleichen Umständen, 2400 Gran Gewichtszulage nöthig haben; für Platten von drei Zoll Durchmesser, also neunfacher Fläche, wird unter diesen Bedingungen 5400 Gran erforderlich seyn, und so wird in allen Fällen die Stärke der Anhaftung gleichen Schritt mit der Zunahme der Berührungspunkte halten, wenn dieses Verhältniß nicht durch sonstige Umstände eine Veränderung erleidet. Ob auch die Temperatur der Flüssigkeiten einen



Digitized by Google

besonders wesentlichen Einfluß auf die Resultate dieser Versuche habe, ist wahrscheinlich, aber nicht völlig entschieden, so wie überhaupt alle dergartige Versuche, so zahlreich sie auch von vielen namhaften Physikern angestellt worden sind, in ihren Resultaten keineswegs übereinstimmen, daher auch nicht in den Schlußfolgen, die man daraus abgeleitet hat, Brechtl, welcher die Adhäsion geschliffener Metallplatten aneinander untersuchte, indem er die eine mit genau horizontaler Fläche an einer feinen Wage aufhing und sie von der untern durch Gewichte losriß, bemerkte, daß die Adhäsionskraft zwischen zwei ungleichen Metallen sich stets nach der richte, welcher der stärkern eigen ist. Brauchte er 21 Gran zum Abreißen einer Kupferplatte von einer andern Kupferplatte, so brauchte er dasselbe Gewicht für Kupfer- und Zinkplatten, obgleich Zink von Zink nur 10 Gran erforderte.

7) Das Abtröpfeln. Viele Flüssigkeiten sind von der Art, daß kleine Mengen eine kugelige Gestalt annehmen, Tropfen bilden, wenn sonst kein äußeres Hinderniß diesen Zusammenhang stört. Wasser, Weingeist, Milch, Oele, Queckfilber und noch eine Menge Flüssigkeiten sind tropfbar.

Hat ein fester Körper Adhäsion zu einem tropfbar flüssigen, so wird ein Tropfen, der an der untern Fläche eines solchen festen Körpers hängt, nur dann abfallen, wenn sein Gewicht der Stärke der Adhäsionskraft überlegen ist; ist aber das Gewicht des Tropfens der Adhäsionskraft nicht überlegen, so wird er durch diese gehalten, und ist nicht abzufallen im Stande. Darum bleiben kleine Wassertropfen an Holz, an Glas und allen festen Körpern haften, die mit Wasser adhäriren. Ein kleiner Tropfen Queckfilber, der auf Papier liegt, läßt sich mit einer Glasröhre aufnehmen, und bleibt an ihr hängen. Bringt man ihn aber mit anderm Queckfilber in Berührung, so verläßt er die Röhre und vereinigt sich mit dem Queckfilber, weil er mehr Adhäsion zum Glase, als zum Papier, und zu seiner eignen Materie wieder mehr, als zum Glase hat. Ein kleiner Tropfen Wasser aber, der an einer Glasröhre hängt, vergrößert sich, wenn man die Röhre mit noch anderm Wasser in Berührung bringt, weil das Wasser eine größere Adhäsion zum Glase, als zu sich selbst hat.

8) Fällt ein Tropfen auf einen festen Körper auf, so verändert er, nach Maßgabe seiner Größe und seiner Adhäsion zum festen Körper, seine kugelige Gestalt mehr oder weniger. Wassertropfen, die auf Glas, Holz und andere Dinge fallen, die von ihnen naß werden, verlieren diese Gestalt sogleich und zerfließen, indessen kleine Queckfilbertropfen ihre runde Gestalt darauf beibehalten, während sie auf Silber, Blei, Zinn ebenfalls zerfließen. Auf staubigen Körpern, auf solchen, die man mit Bärlappsamen bepudert, bleiben auch kleine Wassertropfen rund, und selbst große würden überall, wie die kleinen, es bleiben, würden sie nicht durch ihr eigenes Gewicht etwas platt gedrückt. Einen interessanten hierher gehörigen Versuch kann man mit Queckfilberkügelchen anstellen, die man auf eine ebene Spiegelscheibe, so viel als möglich von gleicher Größe, auflegt. Bedeckt man diese Kügelchen mit einer andern solchen Scheibe, und beschwert diese mit Gewichten, so werden die Kügelchen platt gedrückt, nehmen aber ihre runde Gestalt allmählich wieder an, wenn man die Gewichte nach und nach wieder wegnimmt.

Diese Erscheinungen zu erklären, hat keine Schwierigkeit, wenn man bedenkt, daß die Bildung der Tropfen durch äußere Hindernisse, die ihr

Digitized by Google

entgegen wirken, verhindert, oder aufgehoben werden kann. Ein solches Hinderniß liegt aber in dem Naßwerden der festen Körper, weil in diesem Falle die Anziehung desselben zu dem flüssigen Körper jene überwiegt, mit welcher die Theile des flüssigen Körpers sich unter einander selbst anziehen, und wodurch der Tropfen zu zerfließen gezwungen wird. Er thut aber dieß nicht mehr, wo das Hinderniß beseitigt ist, der Tropfen auf einen festen Körper fällt, den er nicht naß macht, und auf dem er nicht zerfließen kann.

9) Das Zerfließen der Tropfen auf feste Körper, die von der tropfbaren Flüssigkeit naß werden, ist aber noch von andern Phänomenen begleitet, die sehr interessant sind, und auf welche man gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts zuerst aufmerksam geworden ist.

Wenn man nämlich einen Wassertropfen auf eine reine Glas- oder Porzellanschale legt, so zerfließt er zwar, breitet sich aber doch bei weitem nicht so stark darauf aus, als ein eben so großer Tropfen Weingeist oder Aether, indem ein solcher Tropfen die Schale wie mit einem dünnen Ueberzug überziehet, was der Wassertropfen nicht thut. Weingeist und Aether scheinen daher eine größere Adhäsion als Wasser zum Glase und Porzellan zu haben, allein es wirkt bei diesem Phänomen auch noch die größere Verdunstbarkeit des Weingeists und des Aethers mit, wodurch der Schluß, daß sie selbst eine größere Adhäsion zur Schale haben müßten, weil ihre Ausbreitung größer ist, unsicher wird. Wenn man erst einen Wassertropfen in die Schale legt, und nachher einen Weingeist- oder Aethertropfen darauf bringt, so wird der Wassertropfen von dem Weingeist- oder Aethertropfen aus seiner Stelle getrieben und gezwungen sie diesem zu überlassen, wobei jedoch abermals die große Verdunstbarkeit dieser Substanzen mit wirksam ist. Stellt man diesen Versuch in umgekehrter Ordnung an, und legt erst etwas Weingeist in die Schale, und dann Wasser darauf, so findet wohl eine Vermischung zwischen dem Weingeist und Wasser Statt, aber jener wird von diesem nicht vertrieben, eben darum nicht, weil das Wasser nicht so schnell verdunstet.

10) Die Versuche über die Ausbreitung und wechselseitige Vertreibung der Tropfen zeigen auch, daß Adhäsions-Verschiedenheit bei den tropfbaren Flüssigkeiten unter sich stattfindet. Legt man einen Tropfen irgend eines fetten Oels (Olivenöl, Steinöl) auf eine Wasserfläche, so breitet er sich, unter Bildung regenbogenfarbiger Kreise, darauf aus, und dieses um so weiter und schneller, je größer die Wasserfläche ist, auf welche er zu liegen kommt. In einer kleinen Schale ist die Ausbreitung gering und unmerklich; in einer Wanne, oder gar auf einem Teiche, geht sie sehr schnell vor sich, und erstreckt sich sehr weit, woraus sich der Schluß ziehen läßt, daß die Weite und die Schnelligkeit der Ausbreitung in dem Verhältniß zunehme, in welchem die Wasserfläche, auf der sie vor sich geht, sich vergrößert.

Legt man, nach der Ausbreitung des ersten Tropfens, noch einen zweiten auf, so findet keine Ausbreitung mehr Statt. Bestehet aber dieser zweite Tropfen aus irgend einem flüchtigen Oele (z. B. Terpentinöl), so breitet sich, ebenfalls in farbigen Kreisen, nunmehr dieser auf dem Wasser aus; das fette Oel weichet vom Platze und ziehet sich in kleinen Tropfen nach dem Rande des Gefäßes zurück. Man kann statt des flüchtigen Oeles auch einen Tropfen Wolfsmilch nehmen, so wird auch vor diesem das fette Oel zurücktreten, und er an dessen Stelle sich ausbreiten. Auch von einer geringen Menge Mehl wird das fette Oel vertrieben, aber nicht das flüch-

Digitized by Google

tige und die Wolfsmilch, die vielmehr ihrerseits das Mehl vertreiben, und es bisweilen in einen so kleinen Haufen zusammendrängen, daß es zu Boden fällt. Reiner Weingeist und concentrirte Schwefelsäure (Vitriolöl) aber verdrängen das flüchtige Oel, und breiten statt seiner sich aus.

Aus allen diesen Versuchen, die man auch noch auf Tropfen von andern Flüssigkeiten ausdehnen kann, geht hervor, daß die Flüssigkeiten, nach Maßgabe, wie ihre Tropfen sich einander vertreiben, auch einen größeren Grad von Adhäsion zu dem Wasser haben müssen. Nimmt man eine andere Flüssigkeit, z. B. Wein, Weingeist, Essig, statt Wasser, so werden die Phänomene auch verändert, und es findet in gewissen Fällen entweder gar keine Ausbreitung der Oeltropfen darauf Statt, oder keine Vertreibung der fetten von den flüchtigen Oelen. Letzteres ist besonders der Fall, wenn man die Tropfen auf Queckfilber bringt, wo sich zwar beide Oelarten ebenfalls ausbreiten, aber nicht einander vertreiben, hingegen von der Schwefelsäure vertrieben werden.

Legt man auf eine dünne Wasserschichte in einer Porzellanschale ein Stück Kampher, so vertreibt er das Wasser rings um sich her. Ist aber die Wassermenge so groß, daß die Vertreibung nicht erfolgen kann, so geräth der Kampher in eine drehende Bewegung. Dieser Versuch hat in so fern mit den vorigen Versuchen über die Adhäsion der Flüssigkeiten gegen einander eine Aehnlichkeit, weil man das Resultat den Ausdünstungen des Kamphers zuschreibt, die mehr Adhäsion zur Schale haben, als das Wasser, und die auf den Kampher zurückwirken, und ihn in Bewegung versetzen, wenn die Wassermenge zu groß ist, um von ihnen vertrieben zu werden.

Die Kraft, vermöge welcher verwandte Flüssigkeiten sich mit einander zu verbinden streben, zeigt sich auch in folgenden Versuchen: Man gieße in eine weite Glasröhre Salzwasser, binde über das eine Ende derselben ein Stück Rindsblase, und senke sie in ein Gefäß mit reinem Wasser, so wird nach einiger Zeit in beiden Salzwasser sein. Man kann auch bei diesem Versuch umgekehrt zu Werke gehen. Befindet sich in der Röhre Wasser und Zink, und im Gefäße Bleizuckersolution, so wird dieses durch die Blase dringen, den Stand des Wassers in der Röhre erhöhen, und über und unter der Blase eine metallische Vegetation sich bilden. Gießt man eine verdünnte Auflösung von essigsaurem Blei in einen gläsernen Cylinder, bindet über denselben eine starke Rindsblase, selbst auch Papier, und stürzt ihn auf eine Zinkplatte um, so bildet sich ein Niederschlag von reguliniſchem Blei an der innern, selbst auch an der äußern Blasenfläche. Man kann auch den Versuch mit verdünntem salpetersaurem Silber anstellen, wenn man den Cylinder auf eine Kupferplatte stellt.

§ 28. (III. Affinität.) Molekular-Anziehungen zeigen sich auch besonders noch wirksam in allen chemischen Prozessen, wo sie den Namen Affinität oder Verwandtschaft erhalten. Verwandt nennt man nämlich in der Chemie die ungleichartigen Stoffe, welche in der Berührung sich, in bestimmten Verhältnissen, so innig mit einander verbinden, daß die einzelnen Stoffe, aus denen die Verbindung bestehet, nicht mehr zu erkennen sind, und ein neuer, in seinen Eigenschaften oft ganz verschiedener Körper entstehet, der dann in sich ein gleichartiges Ganzes bildet. Volumen, Masse, Temperatur, Farbe, Geruch, Geschmack, Zusammenhang, Alles, der ganze Zustand der Mischung, ist oft ein ganz anderer, als er bei den einzelnen Körpern vor der Vermischung gewesen ist. Wasser und Schwefelsäure, zu gleichen Theilen mit einander vermischt, nehmen eine höhere

Digitized by Google

Temperatur an, als sie einzeln vor der Mischung hatten, und einen kleinern Raum, als die Summe ihrer einzelnen Räume beträgt. Kochsalz bestehet aus Salzsäure und Natrum, die in allen Stücken für sich allein ganz etwas Anderes sind, als Kochsalz. So ist es mit dem reinen Wasser, aus Sauerstoff und Wasserstoff bestehend, mit der schwarzen Dinte, die aus grünem Eisenvitriol und gelben Galläpfeln, mit der Luft, die aus Sauerstoff, Stickstoff und einem kleinen Theil Kohlenstoff zusammengesetzt ist, und vielen anderen mehr. Dadurch unterscheidet sich auch eine Mischung von einem bloßen Gemenge. Dieses besteht nämlich aus solchen Verbindungen und Vereinigungen von Körpern, bei deren Zusammensetzung die Eigenschaften derselben keine Veränderungen erleiden. So erhält man z. B. aus mehreren Stücken eines Metalls, die man zusammenschmelzt, ein einziges Stück desselben Metalls von denselben Qualitäten.

Auch viele Phänomene, die wir als Adhäsionen kennen gelernt haben, scheinen auf Verwandtschaft zu deuten, und diese sogar da thätig zu sein, wo verwandte Stoffe noch nicht einmal in Berührung sind, sondern noch von einander abstehen, der Abstand aber so sehr klein ist, daß er gar nicht gemessen werden kann. Solche Molekular-Anziehungen zeigen sich unter Anderm auch in der Gestalt, welche die Oberfläche einer Flüssigkeit in dem Gefäße annimmt, in dem sie eingeschlossen ist. Bestehet das Gefäß aus einer solchen Materie, die von der Flüssigkeit naß wird, so nimmt diese nicht etwa eine ebene, sondern eine hohle (concave) Oberfläche an, so wie sie im Gegentheil erhaben (convex) ist, wenn das Gefäß aus einer Materie bestehet, die von der Flüssigkeit nicht naß wird. Im ersten Falle steht demnach die Flüssigkeit an den Wänden des Gefäßes höher als in der Mitte, und im andern Falle ist sie in der Mitte höher als an den Wänden.

So haben Wasser, Weingeist und noch viele andere Flüssigkeiten in den meisten Gefäßen, die nicht fettig und staubig sind, eine hohle, Quecksilber hingegen eine erhabene Oberfläche. In metallenen Gefäßen, Eisen ausgenommen, hat auch dieses eine hohle Oberfläche.

Hier zeigt sich nun eine Einwirkung auf die Flüssigkeit durch die Wände des Gefäßes, die weiter als die Berührung reicht, und in welcher eine Art von Affinität, die jedoch mit der eigentlich chemischen Affinität nicht zu verwechseln ist, mit wirksam zu sein scheint. Hat die Materie des Gefäßes, in welchem die Flüssigkeit sich befindet, Affinität zu dieser Flüssigkeit, so wird sie von den Wänden desselben angezogen und in die Höhe gehoben werden, wodurch sie in der Mitte sich vertiefen, und eine hohle Oberfläche annehmen muß. Fehlt diese Affinität, so stoßen die Wände des Gefäßes die Flüssigkeit ab, wodurch diese in der Mitte sich anhäuft und eine erhabene Oberfläche annimmt.

Materien fester Körper, die von einer Flüssigkeit naß werden, und auf welchen deren Tropfen zerfließen, haben daher auch Affinität zu dieser Flüssigkeit, dagegen sie zu der keine haben, von der sie nicht naß werden, und auf welcher ihre Tropfen, wenn keine andere Ursache sie platt drückt, oder zum Zerfließen zwingt, kugelig bleiben.

Mit dieser Auseinandersetzung ist man auch im Stande, folgende Erscheinungen zu erklären:

1) In ein Glas, das bis zu seinem Rande mit einer Flüssigkeit angefüllt ist, die darin eine hohle Oberfläche bildet, kann man doch immer noch von dieser Flüssigkeit zugießen, ohne daß sie ausläuft, wenn man sachte thut, und das Glas sonst keine Erschütterung erleidet, keinen Stoß

Digitized by Google

bekommt. Da nämlich der mit der Flüssigkeit überzogene Rand nunmehr diese nicht mehr anzieht, so füllt der Zuguß nur die Höhlung der Oberfläche aus; sie kann sogar etwas erhaben werden und dennoch nicht auslaufen, so lange die Cohäsion stark genug ist, die flüssigen Theile unter sich zusammen zu halten.

2) Hat ein Glas an seiner innern Wand einen Ring von Fett, Bärlappsamen, oder irgend einer Materie, die von der Flüssigkeit nicht naß wird, so nimmt diese, wie sie diesen Ring erreicht, eine erhabene Oberfläche an.

3) Gießt man eine Flüssigkeit aus einem Gefäße, das von ihr naß wird, so hängt sie sich an die äußere Wand des Gefäßes an, und fließt an dieser ab, wenn das Gefäß nicht schief genug gehalten wird. In diesem Falle nämlich ist die Flüssigkeit der äußern Wand so nahe, daß diese sie noch anzuziehen vermag. Wird aber das Gefäß gehörig geneigt, so wird der Abstand der ausströmenden Flüssigkeit von der äußern Wand des Gefäßes zu groß für die Wirkung der Affinität, und der Ausguß kann nunmehr frei vor sich gehen. Dieß ist der Fall, wenn Wasser, oder irgend eine andere Flüssigkeit, aus einem gläsernen oder sonst einem Gefäße, das sie naß machen, ausgegossen wird. Quecksilber hingegen berühret die äußere Wand eines Glases und anderer Gefäße nicht, die es nicht naß macht, obgleich es nur in einer geringen Neigung derselben ausfließt; thut es aber beim Ausgießen aus einem zinnernen Becher.

Um die Nähe der äußern Wand zur ausfließenden Flüssigkeit zu vermindern, gibt man den Kannen und andern Gefäßen, die zum Ausgießen bestimmt sind, Einschnitte, Schnauzen oder sonst eine passende Form.

4) Die Capillarität. Taucht man ein Stäbchen in eine Flüssigkeit, die nicht sehr zähe oder klebrig ist (keine merkliche Viscosität besitzt), so erhebt sich diese rings um das Stäbchen herum, wenn dieses von ihr naß wird. (Fig. 6). Wird aber das Stäbchen von der Flüssigkeit nicht naß, so bildet sie dagegen rings um dasselbe eine Vertiefung (Fig. 7). Nimmt man statt des Stäbchens eine Röhre, die durchsichtig, z. B. von Glas ist, so wird man wahrnehmen, daß die Flüssigkeit innerhalb der Röhre an den Wänden höher stehet, als in ihrer Mitte, wenn sie die Röhre naß macht (Fig. 8) Macht sie aber die Röhre nicht naß, so stehet sie an den Wänden tiefer, und ist in der Mitte erhaben (Fig. 9). Diese Erscheinungen, deren Erklärung aus dem, was weiter oben darüber gesagt worden ist, sich von selbst ergibt, werden besonders merkwürdig, wenn man zu den Versuchen eine so enge Röhre nimmt, daß kaum ein Pferdehaar in ihr Platz hat. Taucht man ein solches Haarröhrchen in eine Flüssigkeit, von der es naß wird, so steigt die Flüssigkeit innerhalb des Röhrchens weit über ihre äußere Oberfläche hinaus, wenn das Röhrchen auch oben offen ist, damit die darin enthaltene Luftsäule beim Ansteigen der Flüssigkeit daraus entweichen kann. Durch die außerordentliche Enge des Röhrchens kommen die Erhöhungen der Flüssigkeit an der innern Wand desselben so nahe zusammen, daß sie sich

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Digitized by Google

sogleich vereinigen können, bilden aber, in dem Augenblick, wo sie dieses thun, wieder neue Erhöhungen, die abermals zusammenfließen, wodurch denn die Flüssigkeit immer höher und höher in das Röhrchen aufsteigt. In der That müßte auch auf diese Weise die Flüssigkeit immer die ganze Länge des Röhrchens ausfüllen, wie weit dieses auch über die äußere Oberfläche hinaus stehe, wenn nicht endlich das Gewicht der Säule der emporgestiegenen Flüssigkeit und die Cohäsion der flüssigen Theile der Anziehungskraft des Röhrchens irgendwo Gränzen setzten, ihr das Gleichgewicht hielten, und dadurch der weitern Erhebung ein Ende machten.

Diese Erscheinungen begreift man mit noch andern, die ihnen ähnlich sind, unter dem Namen der Capillarität, und die dabei wirksame Affinität wird insbesondere die Capillarattraction, Haarröhrchen-Anziehung genannt.

Je enger das Haarröhrchen ist, desto wirksamer ist auch seine Attraction, und desto höher kann demnach die Flüssigkeit sich darin erheben. Je enger es aber ist, desto kleiner ist sein Durchmesser, und man hat gefunden, daß die Höhe, bis zu welcher eine Flüssigkeit in zwei Haarröhrchen sich erhebt, die aus einerlei Glas bestehen, aber verschiedene Durchmesser haben, im umgekehrten Verhältniß zu deren Durchmessern stehe. Stehet z. B. Wasser in einem Haarröhrchen einen Zoll über seiner äußern Oberfläche, so wird dasselbe Wasser in einem andern Haarröhrchen desselben Glases zwei Zoll hoch stehen, wenn sein Durchmesser halb so groß, vier Zoll hoch, wenn er viertels so groß, acht Zoll hoch, wenn er ein Achtel so groß ist, als der Durchmesser des ersten Röhrchens.

Die Haarröhrchen, deren man sich zu den Versuchen bedient, dürfen aber nicht staubig und fettig sein, und müssen vorher etwas angefeuchtet werden, damit die emporsteigende Flüssigkeit sich nicht an den trockenen Wänden reibe, weil dieses die Kraft vermindert, durch die sie in die Höhe steigt.

Wasser, Weingeist und alle Flüssigkeiten, die durchsichtig sind, können in dem Haarröhrchen nicht gut wahrgenommen werden, daher man sie färben oder hinter dem Haarröhrchen einen undurchsichtigen Körper, z. B. einen Streifen gefärbtes Papier, anbringen muß, um das Emporsteigen zu sehen.

Für die Capillarattraction hat die Materie des Röhrchens einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der emporsteigenden Säule, und ist selbst für verschiedenes Glas schon verschieden. Eben daraus ist es auch begreiflich, daß eine schwere Flüssigkeit, die aber mehr Affinität zum Glase hat, in demselben Haarröhrchen höher steigt, als eine leichtere Flüssigkeit, deren Affinität zum Glase geringer ist. So steigt Wasser in demselben gläsernen Haarröhrchen höher als Weingeist, obgleich dieser leichter als jenes ist. Auch durch zunehmende Wärme vermindert sich das Aufsteigen der Flüssigkeit. Muschenbroek fand bei den Versuchen, die er hierüber mit Haarröhrchen anstellte, die alle einerlei Durchmesser hatten und aus holländischem Flaschenglase waren, daß destillirtes Wasser fast noch einmal so hoch stieg, als Weingeist.

Wo keine Capillarattraction stattfindet, zeigt sich das entgegengesetzte Phänomen, welches Capillardepression, Haarröhrchen-Abstoßung genannt wird. Dieß ist der Fall, wenn man ein gläsernes Haarröhrchen in Quecksilber taucht. Nicht nur, daß gar kein Quecksilber in das Haarröhrchen hinein tritt, es stehet auch gegen die innere Wand des Haarröhrchens desto tiefer, je kleiner dessen Durchmesser ist. Könnte man

Digitized by Google

aber in Haarröhrchen von Gold oder Zinn hineinsehen, so würde man in ihnen das Queckſilber ſich erheben ſehen, wie Waſſer in gläſernen.

Taucht man ein ſehr kurzes Haarröhrchen in Waſſer, ſo kann eine Waſſerſäule durch die ganze Länge des Röhrchens ſich erheben, ſie wird aber, auch bei einem noch ſo kurzen Röhrchen, doch nie aus ihm heraustreten. Natürlich, weil mit dem Ende des Röhrchens auch die Capillar-Attraction zu Ende iſt, und mit der Urſache auch die Wirkung aufhört, wenn nicht andere Umſtände dieſe Wirkung unterhalten.

Hebt man das Haarröhrchen aus der Flüſſigkeit, die in ihm aufſtieg, heraus, ſo bleibt der größte Theil der flüſſigen Säule in dem Röhrchen hängen; ſitzt an dem untern Ende des Röhrchens ein Tropfen, ſo wird die Säule gar nichts von ihrer Höhe verlieren.

Bringt man an das untere Ende eines Haarröhrchens einen Tropfen einer verwandten Flüſſigkeit, ſo ziehet er ſich entweder ganz, oder, wenn er zu groß iſt, zum Theil in das Röhrchen hinein, und ſteigt darin auf. Läßt man einen ſolchen Tropfen an dem Röhrchen ablaufen, ſo ſteigt er ebenfalls hinein, ſobald er die untere Oeffnung des Röhrchens erreicht.

Vermittelſt der Capillarität laſſen ſich noch eine Menge anderer Erſcheinungen erklären, wo Flüſſigkeiten in die Zwiſchenräume verwandter poröſer Körper eindringen, und ſich in ihnen weit über die Stelle, die mit ihnen in Berührung iſt, hinausziehen. Solche Körper bilden gleichſam eine große Reihe mit einander verbundener Haarröhrchen. Mit ein wenig Aufmerkſamkeit auf die im gemeinen Leben nicht ſeltenen Erſcheinungen iſt man im Stande, eine große Menge Wahrnehmungen darüber zu ſammeln. So ſehen wir, daß ein Stück ungeleimtes Papier, das mit einem Ende mit Waſſer in Berührung iſt, faſt durchaus naß wird. Daſſelbe findet bei einem leinenen Tuche Statt, deſſen man ſich zum Filtriren bedient. Ein Sand- oder Aſchenhaufen wird bis oben hinaus naß, wenn er mit ſeiner Grundfläche im Waſſer ſtehet.

So dringen Flüſſigkeiten in Zucker, in Hölzer, in Stricke, in allerlei gewebte Zeuge, in Thon, in einen Schwamm ein; ſo ſteigt das Oel und das geſchmolzene Wachs oder Unſchlitt im Dochte einer brennenden Lampe oder Kerze, wenn ſie recht flüſſig geworden ſind. Die Behauptung, daß das Aufſteigen der Säfte in den Gewächſen ebenfalls eine Folge der Capillarität ſey, iſt zwar beſtritten, aber bis jetzt noch nicht hinlänglich widerlegt worden, und gewiß iſt, daß dieſe einen Antheil daran hat, ſo wie ſie gewiß auch bei dem Kreislaufe des Blutes in den thieriſchen Körpern nicht ohne Wirkſamkeit ſeyn mag.

Auch wird die Capillarität zu mancherlei Verrichtungen benutzt, und mehrere Anwendungen davon gemacht. Fäſſer, die ausgetrocknet und loſe geworden ſind, feuchtet man an, wodurch ſie aufſchwellen und wieder Haltbarkeit bekommen. Zeichnenpapier wird vor dem Aufſpannen erſt naß gemacht, und dadurch ausgedehnt; trocken geworden, ziehet es ſich wieder zuſammen. Die Folge davon iſt, daß es eine gleichförmige Spannung bekommt. Neues wollenes Tuch wird vor der Verarbeitung benetzt, die Fäden werden dadurch dicker und das Tuch dauerhafter. Steine, in welche man Keile von trocknem Holz eintreibt, können durch wiederholtes Begießen dieſer Keile mit Waſſer endlich auseinander geſprengt werden. Ein Faß kann man auseinander ſprengen, wenn man es mit trockenen Erbſen füllt und dieſe mit Waſſer begießt. Auf dieſelbe Weiſe werden auch Schädelknochen auseinander getrieben. Waſſer, das ſich in Stricke ziehet, ſchwellt

Digitized by Google

ſie auf, und macht ſie kürzer. Laſten, die daran befeſtigt ſind, werden dadurch empor gehoben. Der berühmte Baumeiſter Dominicus Fontana machte hiervon eine Anwendung, als auf Befehl des Papſtes Sixtus V. im Jahr 1589 der große 10000 Zentner ſchwere Obelisk in Rom wieder aufgerichtet werden ſollte, nachdem er viele Jahrhunderte lang in drei Stücken zerbrochen unter dem Schutte gelegen hatte. Als der Obelisk beinahe ſchon ſtand, fanden ſich die Stricke der dabei gebrauchten Flaſchenzüge zu lang; man benetzte ſie, ſie wurden dadurch kürzer, und der Obelisk ſtand aufgerichtet.

5) Die Capillarität zeigt ſich auch, wenn man zwei reine Glastafeln unter einem ſpitzen Winkel zuſammenſetzt, und einen Tropfen einer dem Glaſe verwandten Flüſſigkeit ſo dazwiſchen bringt, daß beide Tafeln von ihm berühret werden. Der Tropfen ſteigt an den Schenkeln des Winkels in die Höhe. Auf dieſelbe Weiſe ſteigt auch ein Queckſilbertropfen zwiſchen zwei Zinnplatten auf.

Taucht man zwei ſo zuſammengefügte Glasplatten ſenkrecht in Waſſer, oder ſonſt eine verwandte Flüſſigkeit, ſo ſteigt dieſes an den Schenkeln des Winkels ſchnell empor, und bildet eine krumme (hyperboliſche) Linie.

6) Legt man auf Waſſer, das ruhig in einem Gefäße ſtehet, ein Kork- oder hohles Glaskügelchen genau auf die Mitte der Oberfläche, ſo wird es ruhig liegen bleiben; denn die rings um das Kügelchen entſtehenden Waſſerberge werden gleichſam einen Keſſel bilden, in dem es von allen Seiten eingeſchloſſen iſt. Kommt es aber näher nach der Wand des Gefäßes zu, ſo wird es ſich dieſer mit zunehmender Geſchwindigkeit nähern; denn nun ſteigt zwiſchen dem Kügelchen und der Wand das Waſſer empor, wie zwiſchen zwei Glastafeln, und indem dieſe Waſſerberge zuſammenfließen, nehmen ſie das leicht bewegliche Kügelchen mit. Je näher das Kügelchen der Wand kommt, deſto höher werden die Waſſerberge, und deſto ſchneller bewegt es ſich zu ihr hin. Da nun der Finger und jeder andere Körper, der vom Waſſer naß wird, eben ſo wie die Wand wirkt, ſo bewegt ſich das Kügelchen auch nach dieſem mit zunehmender Geſchwindigkeit hin, wenn man ihn in das Waſſer hält.

Macht man das Kügelchen fettig, oder bepudert man es mit Bärlappſamen, ſo weicht es von der Wand zurück, ſo wie es ſich alsdann auch von dem Finger oder einem andern Körper entfernt, den man in das Waſſer hält, und der vom Waſſer naß wird. Rings um das Kügelchen

Fig. 10.

ſind nun Vertiefungen entſtanden (Fig. 10), und da an der Wand oder dem Finger Erhöhungen ſind, ſo bildet ſich eine ſchiefe Ebene, auf die hinauf das Kügelchen nicht ſchwimmen kann.

Macht man dieſen Verſuch mit zwei Kork- oder Glaskügelchen, die man in die Mitte des Waſſers legt, ſo nähern ſie ſich ebenfalls mit zunehmender Geſchwindigkeit und zwar aus demſelben Grunde, warum ſich ein Kügelchen der Wand oder dem Finger nähert.

Nimmt man zwei Wachskügelchen, oder überhaupt zwei Kügelchen, um die herum ſich Vertiefungen bilden, ſo fließen auch dieſe, wenn die Kügelchen ſich hinlänglich genähert haben, zuſammen, und die Kügelchen vereinigen ſich nun ebenfalls.

Wird aber das eine Kügelchen vom Waſſer naß, das andere nicht, z. B. ein Glas- und ein Wachskügelchen, ſo ſtoßen ſie ſich einander ab, weil das, welches in einer Vertiefung liegt, nicht auf die Erhöhung hinauf kann, die um das naſſe ſich bildet.

Digitized by Google

7) Die längst bekannte Erscheinung des Durchdringens der Flüssigkeiten durch porõse Körper veranlaßte Dutrochet zu Entdeckungen, die zum Theil ebenfalls in die Capillarattraction einschlagen. Wenn man nämlich von irgend einer Substanz eine concentrirte wässerige Auflösung bereitet hat, und dann noch mehr Wasser zusetzt, so zieht dieses ebenfalls die aufgelõs'ten Theile an, so lange, bis allmählich eine vollkommene gleiche Vertheilung durch die ganze Masse eingetreten ist. Wenn aber das Wasser, das man zusetzen will, und die Lösung nicht in unmittelbarer Berührung, sondern durch einen porõsen (capillaren) Körper von einander getrennt sind, so daß die beiden Flüssigkeiten durch diesen Körper dringen müssen, um sich mit einander zu verbinden, so bilden sich zwei entgegengesetzte Ströme. Sind nun diese nicht gleich, welches dann eintritt, wenn die porõse Wand die eine Flüssigkeit leichter durchläßt, als die andere, so wird auch der Stand von jener auf der einen Seite der Wand höher werden, als er auf der andern Seite ist, wo die andere Flüssigkeit sich befindet. Dutrochet nannte Jenes Endosmose, Dieses Exosmose. Hat man z. B. eine Glasröhre zum Theil mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol gefüllt, und über die Oeffnung der Röhre eine Blase gebunden, so wird, wenn man diese in Wasser taucht, die Lösung durch die Blase strömen und das Wasser färben; allein in der Röhre wird die Flüssigkeit steigen, während sie von Außen sinkt, weil die Endosmose dem Wasser zukommt. Ist aber das Wasser in der Röhre und die Lösung außerhalb derselben, so nimmt auch die Höhe in der Röhre ab, und von Außen zu. Gleiche Erscheinungen bieten Wasser und Weingeist dar, wo die Endosmose dem Weingeist zukommt. In dem Prozeß der Absorption und Verbreitung der Säfte, welche Thieren und Pflanzen zur Nahrung dienen, ist die Endosmose ebenfalls mit im Spiele.

§ 29. (Haarröhrchen-Verhältnisse.) Das oben angeführte Gesetz der Haarröhrchen läßt sich mathematisch auf folgende Weise einsehen. Aus der Geometrie ist bekannt:

1) Das die Peripherie eine Kreises gefunden wird, wenn man seinen Durchmesser mit 3,14 multiplicirt.

2) Daß der körperliche Inhalt einer cylindrischen Säule gefunden wird, wenn man das Quadrat ihres Durchmessers mit ihrer Höhe multiplicirt, und dieses Product wieder mit 3,14.

Nun habe ein Haarröhrchen A den Durchmesser c; die Flüssigkeit stehe darin auf der Höhe h. Ein anderes B habe den Durchmesser d, und dieselbe Flüssigkeit stehe darin auf der Höhe m. In beiden Röhrchen sei die Capillarattraction um g größer, als die Cohäsion der flüssigen Theile unter sich.

Der körperliche Inhalt der Säule, die im Röhrchen A stehet, muß seyn $= c^2h \times 3{,}14$, und derselbe Inhalt der Säule, die in B stehet, muß seyn $= d^2m \times 3{,}14$.

Die Kraft, durch welche die Säulen erhoben werden, wirkt aber desto stärker, je größer die Anzahl der Berührungspunkte ist, und die Menge dieser Punkte hängt bei den Röhrchen, deren Grundflächen Kreise sind, nothwendig von der Größe der Peripherie ab. Nun ist aber die Peripherie von $A = 3{,}14\ c$, und die von $B = 3{,}14\ d$. Die Capillarattraction in A ist demnach $= 3{,}14\ c \times g$, und in B ist sie $= 3{,}14\ d \times g$.

Da nun die emporgehobenen Säulen sich wie die Kräfte verhalten müssen, so ergibt sich hieraus folgende Proportion:

Digitized by Google

$$c^2h \times 3{,}14 : d^2m \times 3{,}14 =$$
$$3{,}14\,cg : 3{,}14\,dg$$
oder $c^2h : d^2m = c : d$.

Das Product der äußern Glieder muß dem Product der mittleren Glieder gleich seyn, also

$$c^2hd = d^2mc$$

dividirt man die beiden Seiten dieser Gleichung durch cd, so erhält man:

$$ch = dm$$

woraus sich die Proportion ergibt:

$$h : m = d : c$$

d. i. die Höhe der Säulen verhalten sich umgekehrt, wie die Durchmesser der Röhrchen A und B.

## Anhang.

(Chemische Anziehung.) Die Affinität in der Berührung dient allen chemischen Operationen zur Grundlage, sowohl für die Zerlegung der Stoffe (Analyse), als auch für deren Zusammensetzung (Synthese). Ausführlich kann daher auch nur in eigentlich chemischen Werken die Rede davon seyn, um so mehr, da heut zu Tage die Chemie zu einem selbstständigen und weitläufigen Zweig der Naturwissenschaft sich gestaltet hat, und fortwährend an Umfang zunimmt. In gedrängter Kürze, so weit das vorliegende Werk es etwa erfordert und dessen Gränzen es verstatten, mag aus dem Gebiet dieser, der Physik verschwisterten Wissenschaft, vorläufig Folgendes hier Platz greifen, da am geeigneten Orte noch Eins und das Andere berührt werden muß.

Außer eigenthümlicher bezeichnender Benennungen für die verschiedenen Verbindungsstufen der Stoffe, z. B. Eisenoxyd (Eisen mit Sauerstoff); Eisenoxydul (Eisen mit $^2/_3$ so viel Sauerstoff); Phosphorsäure (Phosphor mit Sauerstoff); phosphorige Säure (Phosphor mit $^3/_5$ so viel Sauerstoff) u. s. w. bedient sich die Chemie auch Abkürzungszeichen mancherlei Art, z. B. O Sauerstoff, (Oxygenium), C Kohlenstoff (Carbonium), N Stickstoff (Nitrogenium), H Wasserstoff (Hydrogenium), Hg Quecksilber (Hydrargyrum), F Fluor (Fluorinium), Fe Eisen (Ferrum), S Schwefel (Sulphur), Sn Zinn (Stannum), Si Kiesel (Silicium) u. s. w. Ferner: $H^2O$ oder $H_2O$ d. i. zwei Gewichtstheile Wasserstoff und ein Gewichtstheil Sauerstoff im Wasser; $SO^3$ d. i. Schwefelsäure, welche drei Gewichtstheile Sauerstoff enthält; $SO^3 + H^2O$ d. i. Schwefelsäure, die noch ein Gewichtstheil Wasser enthält (englische); 2HO d. i. zwei Gewichtstheile Wasserstoff und zwei Gewichtstheile Sauerstoff u. s. w. Stoffe, die man bis jetzt nicht weiter zerlegen konnte, werden einfache Stoffe, Ur- oder Grundstoffe, Elemente genannt. Deren sind bis jetzt etliche fünfzig bekannt, theils Metalle, theils Nichtmetalle oder Metalloide. Zu diesen gehören u. A.: der Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff; ferner: der Schwefel, Phosphor, Kiesel, das Jod, Chlor, Fluor, Bor, Brom u. A.

Chemische Mischungen, d. h. Verbindungen ungleichartiger Stoffe zu einem gleichartigen Körper, sind theils solche, wo Flüssigkeiten mit Flüssigkeiten, theils solche, wo feste Körper mit Flüssigkeiten sich verbinden, von diesen aufgelöst werden, auf nassem Wege, wenn wenigstens einer der beiden Stoffe in gewöhnlicher Temperatur schon flüssig ist, oder auf trockenem Wege, wenn auch nur einer derselben

Digitized by Google

erst durch erhöhete Temperatur, wodurch Schmelzung erfolgt, in den flüssigen Zustand versetzt werden muß. Die Auflösung eines Metalls durch Queckſilber wird insbesondere ein Amalgama genannt.

Bei vielen Stoffen hängen ihre Vermiſchungen weder von einem bestimmten Verhältniß, noch von der Temperatur ab, wie Waſſer und Wein; bei vielen anderen iſt die Vermiſchung auf ein gewiſſes Verhältniß beſchränkt, wie Waſſer und Kochſalz, wo immer zu 27 Theilen Kochſalz 100 Theile Waſſer nöthig ſind, dieſes jedoch in jeder Temperatur, während es wieder andere Miſchungen gibt, wo beide, Verhältniß und Temperatur, in Anſchlag kommen, wie Salpeter und Waſſer, denn je heißer dieſes iſt, je mehr Salpeter löſ't es auf. Jede Auflöſung hat aber ihre Gränzen, und über dieſe hinaus nimmt der flüſſige Körper, das Auflöſungsmittel, nichts mehr von dem aufzulöſenden Körper auf. Iſt dieſe Gränze erreicht, ſo heißt die Auflöſung eine geſättigte, z. B. 100 Theile Waſſer und 27 Theile Kochſalz.

Solche Stoffe, die keine Affinität zuſammen haben, wie Fett und Waſſer, erfordern zu ihrer Verbindung einen dritten Körper, ein Anneigungsmittel, der zu beiden Affinität hat. Potaſche iſt ein ſolches für Fett und Waſſer, Seife für Oel und Waſſer. Für Färbereien und ähnliche Beſchäftigungen iſt dieſes von beſonderem Belang.

Auch durch Licht, Wärme, Elektrizität wird die Verwandtſchaft der Stoffe oft ſehr vermehrt, oft vermindert. So werden durch Abdampfen die flüchtigen Theile eines Körpers von den weniger flüchtigen geſchieden, wie das Kochſalz aus der Soole. Sind dieſe flüchtigen Theile, die durch Hitze abgeſondert und dann wieder geſammelt werden, in einem flüſſigen Zuſtand, ſo wird dieſes eine Deſtillation, ſind ſie aber in einem feſten Zuſtand, eine Sublimation genannt.

Die Affinität zwiſchen mehreren verſchiedenen Stoffen iſt von ungleicher Stärke, und eine Flüſſigkeit, die mit einem Stoffe verbunden iſt, ſcheidet dieſen aus, wenn ſie mit einem andern in Berührung kommt, zu dem ſie eine ſtärkere Affinität hat. Dieſe Erſcheinung wird die Wahlverwandtſchaft genannt. Die Ausſcheidung eines Körpers aus ſeinem Auflöſungsmittel durch einen hinzugekommenen dritten Körper, wird eine Fällung, der ausgeſchiedene, wieder ſichtbar gewordene Körper ein Niederſchlag, und der Körper, der die Ausſcheidung bewirkt hat, das Fällungsmittel genannt. So wird Kampher, der in Weingeiſt aufgelöſ't iſt, durch Waſſer, Kupfer durch Eiſen aus Salpeterſäure niedergeſchlagen. Hierauf beruhet auch der Gebrauch der Reagentien, d. h. ſolcher Stoffe, welche bewirken, daß andere in Auflöſungen enthaltene Stoffe ihre Gegenwart verrathen. So iſt blankpolirtes Silber ein Reagens auf überſchwefelten Wein, da dieſes davon geſchwärzt wird, Eiſen auf Kupfer, in einer Kupferauflöſung, ſalpeterſaures Silber auf Chlor oder Chlorſalze, die davon getrübt werden und im Lichte ſich ſchwärzen. Außer ſolcher einfachen, gibt es auch eine doppelte Wahlverwandtſchaft. Setzt man z. B. einer Auflöſung von Kochſalz in Waſſer eine Auflöſung von Silber in Salpeterſäure zu, ſo verbindet ſich das Salznatron mit der Salpeterſäure zu Salpeter, und die Salzſäure mit dem Silber, als Niederſchlag, zu ſalzſaurem Silber (Hornſilber); bringt man kohlenſaures Kali mit ſalzſaurem Kalk zuſammen, ſo erhält man ſalzſaures Kali und kohlenſauren Kalk.

Die ſchönſten und merkwürdigſten Geſetze, wodurch die neuere Chemie ſo reichen Zuwachs erhalten hat, verdankt man der Entdeckung der

Digitized by Google

bestimmten einfachen und mehrfachen Quantitäten, in welchen viele Körper sich unter einander so verbinden, daß ihre chemischen Eigenschaften, die sie einzeln gehabt haben, dadurch vernichtet werden, und der Angabe dieser Quantitäten in genau bestimmten Gewichtsmengen. Um jedoch der Angabe dieser verhältnißmäßigen Gewichtsmengen eine bestimmte Einheit zu Grunde zu legen, geht man von der Verbindung des Sauerstoffs mit andern Stoffen aus, indem man festsetzt, wie viel Gewichtstheile eines jeden Stoffes mit 100 eben solcher Gewichtstheile des Sauerstoffs sich, bis zur Vernichtung der chemischen Eigenschaften, verbinden können. Die so gefundenen Zahlen nennt man Mischungsgewichte, Aequivalente, stöchiometrische Zahlen. Manche bedienen sich auch des Wasserstoffs zur Grundbestimmung dieser Verhältnißzahlen, durch die Angabe, wie viel Gewichtstheile eines Stoffes mit einem gleichnamigen Gewichtstheil Wasserstoff, bis zu derselben Vernichtung, zu verbinden vermögen. Von dieser Grundlage aus werden aber die Verhältnisse der Mischungsgewichte nahe um $12^1/_2$ mal kleiner, als für jene, die sich auf 100 des Sauerstoffs beziehen, da man weiß, daß nahe ein Gewichtstheil Wasserstoff und acht gleichnamige Gewichtstheile Sauerstoff, d. i. $12^1/_2$ von jenem und 100 von diesem in ihren chemischen Eigenschaften sich vernichten und Wasser bilden. Beide Angaben lassen sich daher leicht auf einander reduciren, so wie man auch aus jeder von ihnen erfahren kann, in welchen Quantitäten sich überhaupt irgend zwei verwandte Stoffe mit einander verbinden können; ob aber zwei Stoffe überhaupt eine Verbindung eingehen, dieses läßt sich, wie leicht einzusehen, nicht berechnen.

Als Grundlage zu diesen Berechnungen mögen folgende Aequivalentenangaben für einige der bekanntesten Grundstoffe dienen, die sich alle, zufolge genauer Versuche, auf 100 Gewichtstheile O (Sauerstoff) beziehen, und gleichnamige Gewichte (z. B. Lothe) bedeuten. Es können sich nämlich mit 100 O chemisch verbinden:

| | |
|---|---|
| Wasserstoff H $12^1/_2$ | Zink Zn 403 |
| Kohlenstoff C 75 | Chlor Cl 443 |
| Stickstoff N 175 | Zinn Sn 738 |
| Schwefel S 200 | Arsenik As 940 |
| Eisen Fe 340 | Queckſilber Hg 1267 |
| Kupfer Cu 398 | Blei Pb 1298. |

Je kleiner das Mischungsgewicht für 100 O ist, desto größer und stärker ist die chemische Kraft des elementaren Stoffes, so ist z. B. H sechsmal kräftiger als C, da $12^1/_2$ H schon dasselbe leisten, als 75 C. Auch hat H unter allen Grundstoffen die größte chemische Kraft, die kleinste hat Uran U, dessen Mischungsgewicht mit 100 O 2713 ist.

Wie nun aus obigen und andern noch vollständigeren Tabellen hervorgeht, welches die geringste Gewichtsmenge ist, in welcher der Sauerstoff mit einem und dem andern dieser Stoffe sich verbinden kann, z. B. 8 O mit 1 H; 4 O mit 3 C; 1 O mit 2 S u. s. w., so zeigen sie zugleich auch, durch eine leichte Berechnung, die geringste Gewichtsmenge der andern Stoffe unter einander, in so fern sie überhaupt vermögend sind, sich chemisch zu verbinden. So z. B. wäre das geringste Mischungsgewicht zwischen Wasserstoff und Schwefel wie 1 zu 16, zwischen Kohlenstoff und Schwefel, wie 3 zu 8 u. s. w. Wirklich kann auch in einer chemischen Verbindung ein Element nur dann an die Stelle eines andern treten, wenn dieses in den durch das Mischungsgewicht angegebenen Quantitäten geschieht. Die chemischen Zeichen der Stoffe drücken daher zugleich auch

Digitized by Google

die festbestimmte Gewichtsmenge aus, unter welcher diese Stoffe sich vereinigen. So bedeutet z. B. FeS Schwefeleisen = 340 Eisen + 200 Schwefel; HgS Schwefelqueckſilber (Zinnober) = 200 Schwefel + 1267 Queckſilber. Deſtillirt man Eiſen mit Zinnober, ſo tritt der Schwefel an das chemiſch ſtärkere Eiſen und das Queckſilber wird frei; 340 Gewichtstheile Eiſen ſcheiden 1267 ſolche Gewichtstheile Queckſilber aus 1467 dieſer Gewichte Zinnober. Nimmt man mehr Zinnober, ſo bleibt er unzerſetzt, nimmt man mehr Eiſen, ſo bleibt der Ueberſchuß unverbunden.

Auch die Aequivalente ſolcher Verbindungen, in welchen mehrere Elemente vorkommen, laſſen ſich hiernach beſtimmen. So iſt z. B. das Miſchungsgewicht für Kreide = 631, da ſie aus kohlenſaurer Kalkerde beſteht. Nun beſteht aber:

| Die Kalkerde aus: | | Die Kohlenſäure aus: | |
|---|---|---|---|
| 1 Aeq. Calcium Ca | = 256 | 1 Aeq. C | = 75 |
| 1 „ O | = 100 | 2 „ O | = 200 |
| alſo CaO | = 356 | alſo $CO^2$ | = 275 |

daher Kalkerde = CaO + $CO^2$.

Es gibt aber auch unter den elementaren Stoffen manche, welche fähig ſind, ſich in mehr als einem einzigen Verhältniß mit einander zu verbinden, wobei jedoch das merkwürdige Geſetz vorherrſcht, daß dieſe Verhältniſſe ſtets nur das 1½-, 2-, 2½-, 3- und 3½fache u. ſ. w. des Einfachen ſind. So verbindet ſich z. B. Stickſtoff und Sauerſtoff in vier Verhältniſſen, nämlich 175 N mit 100 O zu Stickoxydul = NO; mit 200 O zu Stickoxyd = $NO^2$; mit 300 O zu ſalpetriger Säure = $NO^3$; mit 500 O zu Salpeterſäure = $NO^5$. Gasförmige Körper verbinden ſich auch in beſtimmten Maßen mit einander, z. B. 1 Maß Sauerſtoffgas mit 2 Maß Waſſerſtoffgas, und das Volumen der Verbindung beträgt entweder die Summe der Volumen der verbundenen Gaſe, oder nur ½ oder ⅔ dieſer Summe. So erhält man aus vorſtehenden Maßen von Sauerſtoffgas und Waſſerſtoffgas nur zwei Maß Volumen.

Wie es gewiſſe Stoffe gibt, die in verſchiedenen Geſtalten kryſtalliſiren, z. B. der Schwefel, der in Auflöſungen in gewöhnlicher Temperatur eine Kryſtallform annimmt, die von der verſchieden iſt, wenn er in der Hitze geſchmolzen iſt; ſo gibt es auch Stoffe, die ihre Kryſtallform ändern, wenn einer ihrer Beſtandtheile durch einen andern erſetzt wird, und ſolche Stoffe werden dimorphe genannt. Dagegen heißen ſie iſomorph (gleichgeſtaltig), wenn die Kryſtallform dieſelbe bleibt, obgleich an die Stelle eines ihrer Beſtandtheile ein anderer tritt, z. B. die des Alauns, den man aus mancherlei Beſtandtheilen darſtellen kann.

Es gibt aber auch zuſammengeſetzte Körper, deren Anſehen und Eigenſchaften ganz verſchieden ſind, z. B. Kautſchuk und Steinöl, die aber dem Gewichte nach in ihren Zuſammenſetzungen ganz gleich ſind. Dieſe werden werden iſomeriſch genannt.

Die Urſache dieſer merkwürdigen Erſcheinungen ſchreibt man auf Rechnung der Stellung und der Gewichte der Atome, und nimmt an, daß ſie in den verſchiedenen Zuſammenſetzungen theils gleich, theils veränderlich ſind, und nach dieſer atomiſtiſchen Anſicht hat man auch die Miſchungsgewichte Atomgewichte genannt. Wenn demnach 1 Maß Sauerſtoff und 2 Maß Waſſerſtoff ſich verbinden, und dieſe ein Miſchungsgewicht von 12½ haben, ſo iſt das Atomgewicht von 1 Maß Waſſerſtoff = 6¼.

Digitized by Google

# Drittes Kapitel.

## Bewegung.

§ 30. (Absolute und relative Bewegung.) Jeder Körper in der Welt muß irgendwo einen Raum einnehmen, und die mechanische Seite, von welcher aus jede Naturerscheinung beurtheilt werden soll, liegt in den Ortsveränderungen, die wir dabei wahrzunehmen im Stande sind, in den Bewegungen, die wir als Wirkungen thätiger Kräfte zu erkennen vermögen. Auch halten wir, von Jugend auf daran gewöhnt, jeden Körper so lange für ruhend, so lange wir ihn an dem Orte beharren sehen, den er inne hat, und glauben, daß er sich bewege, wenn er vor unsern Augen Ortsveränderungen erleidet. Wollen wir aber die Gesetze der verschiedenen Arten von Bewegungen, die in ganz besonderm Grade für das physikalische Studium der Natur von Wichtigkeit sind, rein und vorurtheilsfrei kennen lernen, so müssen wir vor Allem die Irrthümer und die Täuschungen nicht vergessen, denen wir so häufig unterliegen, wo wir Bewegungen wahrnehmen. Bei manchen Bewegungen können wir mit unserm körperlichen Auge nicht darüber entscheiden, welcher von zwei Körpern, die um einander sich bewegen, der bewegte und der ruhende sey, oder ob beide sich bewegen, wie z. B. bei der Bewegung der Himmelskörper; manche andere Bewegungen werden von unsern Sinnen gar nicht wahrgenommen, z. B. die Umdrehung der Erde um ihre Achse und ihr Umlauf um die Sonne, und wieder andere werden, dem äußern Anblick nach, falsch von uns beurtheilt, z. B. der scheinbare Stillstand, das Vor- und Rückwärtsgehen eines Planeten, das Fortrücken des Ufers bei einer Wasserfahrt u. a. m.

Ueberdies können wir von der wahren Bewegung eines Körpers in dem unendlichen Weltraume nie eine Wahrnehmung, daher auch durchaus keine Vorstellung haben. Hierzu zu gelangen, müßten wir den Ort erkennen können, den ein jeder Körper in diesem unendlichen Raume inne hat. Da aber unser beschränktes irdisches Erkenntnißvermögen nicht im Stande ist, diesen Raum wahrzunehmen, ja nicht einmal in der Idee ihn aufzufassen, so geht uns auch die Wahrnehmung der Lage eines Körpers in diesem Raume, den man seinen absoluten Ort nennt, durchaus ab, und wir können daher auch nicht wissen, ob ein Körper in diesem Orte ruhe, also in absoluter Ruhe sich befinde, oder ob er ihn mit einem andern vertausche und in absoluter Bewegung sey.

Gebäude, Bäume, Berge und Alles, was auf der Erde ist und sich vor unsern Augen nicht bewegt, scheinen in Ruhe zu seyn. Diese Ruhe ist aber eben darum nur scheinbar, weil die Erde, auf der sie sich befinden, selbst nicht in Ruhe ist, indem sie sich sowohl um ihre Achse, als um die Sonne dreht, und Alles, was auf ihr ist, diese Bewegungen ununterbrochen mitmachen muß. Welchen absoluten Ort nun diese Dinge im Weltraume jedesmal inne haben, ist für uns eben so wenig erkennbar, als es die absolute Bewegung ist, in der sie unaufhörlich sich befinden.

Was wir wahrzunehmen vermögen, beschränkt sich auf die Lage eines Körpers in Beziehung auf die Lage anderer Körper, die über, neben und unter ihm sich befinden, und die wir seinen relativen oder scheinbaren Ort nennen. So lange ein Körper in dieser Lage beharret, ist



Digitized by Google

er für unsere Wahrnehmung in Ruhe, die darum ebenfalls nur eine relative oder scheinbare Ruhe ist, und so wie er diese Lage verändert, sehen wir ihn sich bewegen, was wiederum nur eine relative oder scheinbare Bewegung ist.

Wenn wir heute den Mond bei einer gewissen Sterngruppe erblicken, und morgen, um dieselbe Zeit, bei einer andern, wenn wir Jemand fortgehen, einen Vogel im Flug, eine fortziehende Wolke sich bewegen sehen, wenn ein Gegenstand von der Erde aufsteigt, oder auf sie niederfällt, so sind alle diese Bewegungen nur relativ, nur scheinbar, da diese Dinge bloß ihre Lage in Rücksicht auf andere sie umgebende Gegenstände dabei verändert haben.

§ 31. (Gegenstände der Bewegungsgesetze.) In der Auffindung der Bewegungsgesetze liegt der Schlüssel zu den Geheimnissen der Natur, so weit sie zu erforschen den menschlichen Kräften vergönnt sind, und diese Gesetze allein beherrschen auch das weite Gebiet der gesammten Mechanik. Die Entwickelung derselben, immer nur auf relative Bewegungen, in dem angegebenen Sinne, bezogen, ist zwar sehr mannigfaltig und speciell, beruht aber im Allgemeinen auf der richtigen Bestimmung folgender Stücke, die bald sämmtlich, bald theilweise dabei in Betrachtung kommen:

1) Die Ursachen der Bewegung. Kraft ist die Bedingung einer jeden Bewegung, und die Größe derselben kann immer auch nur allein durch die Wirkung gemessen werden, die sie hervorbringt. Es kann aber seyn, daß nur eine einzige Kraft, oder mehrere Kräfte zu dieser Wirkung beitragen; sind es mehrere Kräfte, so können sie auf einerlei Weise vereint, oder entgegengesetzt, oder neben einander, unter irgend einem Winkel, wirken; sie können ferner gleichzeitig, oder nach einander, theilweise in Einem fort, theilweise in Absätzen, wirksam seyn, und diese Umstände können auf die Bewegung einen solchen Einfluß haben, daß sie dadurch auf alle Weise gestört, beschränkt, aufgehalten, befördert, verstärkt oder verändert wird.

2) Die Materie des bewegten Körpers, ob es ein fester oder flüssiger ist, ein elastischer oder unelastischer u. s. w., und dessen Masse und Form.

3) Das Mittel, in welchem ein Körper sich bewegt, ob dieses ein völlig leerer Raum ist, in welchem kein Widerstand stattfindet, oder ob dieser Raum mit Luft, Wasser oder sonst einem materiellen Stoffe, welcher der Bewegung Widerstand leistet, erfüllt ist.

Die bewegte Masse und die Geschwindigkeit, mit welcher sie sich bewegt, stehen allemal in einem bestimmten Verhältniß zu der bewegenden Kraft, so daß diese aus jenen gefunden werden kann, so wie man daraus auch die Kraft bestimmen kann, mit welcher ein bewegter Körper auf einen andern wirkt, der in Ruhe ist. Bedenkt man, daß z. B. ein Wassertropfen eine geringere Kraft zur Bewegung erfordert, als ein Stück Gold von demselben Volumen, weil Gold dichter als Wasser ist, daß die mancherlei Wirkungen der Cohäsion, Adhäsion und Affinität ebenfalls in Bewegungen sich aussprechen, daß Körper von gleicher Materie, aber verschiedener Masse auch ein verändertes Verhältniß zu der bewegenden Kraft darstellen müssen, und daß es nicht einerlei seyn kann, ob sie eine runde, eckige, eine regelmäßige oder unregelmäßige Form haben, so ist es leicht einzusehen, daß die richtige Bestimmung der Bewegungsgesetze zugleich die Materie, woraus der bewegte Körper bestehet, die Masse, die er enthält, so wie seine Form,

Digitized by Google

mit in Anschlag bringen müsse. Die Untersuchung wird indessen dadurch sehr vereinfacht, daß man erst die Bewegungsgesetze in ihrer allgemeinen Gültigkeit für jeden materiellen Punkt überhaupt, und ohne Berücksichtigung der Materie, Masse und Form eines besondern Körpers, zu bestimmen sucht. Eben so verfährt man auch in Beziehung auf das Mittel, worin sich der Körper bewegt. Auch dieses wird, bei der Bestimmung der Bewegungsgesetze eines bloßen materiellen Punktes, vorerst unbeachtet gelassen, obschon sein Einfluß auf die richtige Bestimmung dieser Gesetze nicht zu verkennen ist. Erst dann, wenn die allgemein aufgefundenen Gesetze auf irgend einen bestimmten Fall angewandt werden, ziehet man diese Gegenstände mit in Betrachtung, und bestimmt, in wie fern sie das allgemeine Gesetz zu modificiren im Stande sind.

4) Die Zeitdauer der Bewegung, und der Raum oder der Weg, der während der Dauer der Bewegung zurückgelegt worden ist, so wie die Richtung dieses Weges.

Da es wohl unmöglich ist, daß ein Körper an zwei Orten zugleich seyn kann, so muß natürlich zu seinem Fortgang von einem Ort zu einem andern, mithin zu jeder Bewegung, wie klein sie auch seyn mag, immer irgend eine Zeit verfließen. Der Weg aber, den ein Körper in einer gewissen Zeit zurücklegt und den man auch seine Bahn zu nennen pflegt, kann bald größer, bald kleiner ausfallen, je nachdem Kraft und Umstände es zulassen. Unter völlig gleichen Umständen wird die Länge der Bahn von der Dauer der Bewegung abhängen. Auch Breite muß die Bahn eines Körpers haben, und zwar nach Maßgabe der Breite des Körpers, der in ihr sich bewegt. Da es aber bei der Bestimmung der Bewegungsgesetze hauptsächlich auf die Länge der Bahn ankommt, und die Breite derselben außer Acht gelassen werden kann, so kann man sich in dieser Hinsicht die Untersuchung dadurch erleichtern, daß man einen jeden bewegten Körper bloß als einen bewegten Punkt vorstellt, dessen Bahn eine bloße Linie ohne alle Breite sey. Je nachdem diese Linie gerade, gebrochen oder krumm ist, erkennen wir in ihr die Richtung des bewegten Punktes, mithin auch des ganzen Körpers, und haben darin eine Wahrnehmung, ob sich diese Richtung stets gleich bleibt, oder abändert.

5) Die Größe oder Quantität der Bewegung. Hierunter verstehet man die Gewalt, die ein in Bewegung begriffener Körper auf andere Körper wiederum auszuüben im Stande ist, die entweder in Ruhe, oder in Bewegung sind, wo sonach dieser Körper selbst wieder als bewegende Ursache auftritt. Diese Wirkung eines sich bewegenden Körpers auf andere Körper, was man dann Mittheilung der Bewegung nennt, kann entweder eine anhaltende seyn, wo sie Druck (Zug), oder nur eine augenblickliche, wo sie Stoß genannt wird. Die meisten Bewegungen sind mitgetheilte Bewegungen, z. B. die Bewegung einer Maschine, ein von Pferden gezogener Wagen, ein geworfener Stein u. s. w. Ursprüngliche Bewegungen nennt man dagegen solche, bei welchen man sich die bewegende Kraft mit dem Wesen des Körpers selbst verbunden denkt, z. B. die willkürliche Bewegung lebender Thiere.

6) Die gemeinschaftliche und besondere oder eigene Bewegung. In gemeinschaftlicher Bewegung sind z. B. alle Planeten um die Sonne, so wie alle Körper auf der Erde, indem sie alle die Bewegung der Erde um ihre Achse und um die Sonne mitmachen, indessen doch jeder Körper für sich allein noch eine eigene oder besondere Bewegung



Digitized by Google

haben kann. So haben auch alle Körper in einem segelnden Schiffe mit diesem eine gemeinschaftliche Bewegung; doch hat der, der darin nicht ruhig sitzt, noch eine eigene Bewegung.

§ 32. (Geschwindigkeit.) Die innere oder intensive Größe einer Bewegung wird die Geschwindigkeit genannt, allein für sich bestehend ist dieser Ausdruck unbezeichnend, da die Ausdrücke: rasch, schnell, geschwind, langsam u. s. w. immer erst durch bestimmte Vergleichungen verständlich werden. So ist z. B. die Bewegung einer Schnecke schnell gegen die des Stundenzeigers einer Uhr, aber langsam gegen den gewöhnlichen Gang des Menschen, dieser langsam gegen den Flug eines Vogels, dieser gegen den einer Kanonenkugel, dieser gegen die Fortpflanzung des Schalls u. s. w. Um nun angeben zu können, wie geschwind ein Punkt sich bewege, muß man die Zeit, wie lange die Bewegung gedauert hat, zugleich aber auch die Länge des Weges, der zurückgelegt worden ist, anzugeben vermögen. Bleibt eine dieser beiden Bestimmungen aus der Angabe hinweg, so kann man sich die Geschwindigkeit der Bewegung durchaus nicht mehr vorstellen. Man unternehme es nur einmal, von der Geschwindigkeit zu sprechen, ohne diesen beiden Angaben zugleich zu erwähnen, und man wird sich sogleich davon überzeugen, daß man keine Vorstellung von ihr bekommt. Ich bin um die Stadt gelaufen; gibt dieses wohl einen Begriff von der Geschindigkeit der Bewegung, wenn auch die Länge dieses Weges bekannt ist? Ich bin eine halbe Stunde gelaufen; kann man sich die Geschwindigkeit der Bewegung vorstellen, wenn man den Weg nicht kennt, der zurückgelegt worden ist? Weiß man aber, daß der Weg um die Stadt eine Stunde beträgt, und es sagt Jemand: ich bin in einer halben Stunde um die Stadt gelaufen, dann erst kann man sich durch die Vergleichung der Zeit mit dem bekannten Wege eine Vorstellung von der Geschwindigkeit der Bewegung machen.

Die Geschwindigkeit ist also eine Vergleichung (ein Verhältniß) zwischen der Zeitdauer einer Bewegung und dem Wege, der darin zurückgelegt worden und bekannt ist.

In der Physik nimmt man in der Regel die Sekunde als Zeiteinheit, und den Fuß (gewöhnlich den alten Pariser), in neuerer Zeit auch den französischen Meter, zur Einheit des Weges an. Weiß man, daß ein Körper in 4 Sekunden 80 Fuß zurückgelegt hat, so sagt man, seine Geschwindigkeit betrage 20 Fuß (nämlich in einer Sekunde).

Hieraus folgt, daß die Geschwindigkeit einer Bewegung gefunden wird, wenn man den zurückgelegten Weg durch die dazu verwendete Zeit dividirt.

Zwei materielle Punkte, die in einerlei Zeit auch immer denselben Weg zurücklegen, haben nothwendig auch einerlei Geschwindigkeit. Legt der Punkt m (Fig. 11) in einer Sekunde den Weg mh, und der

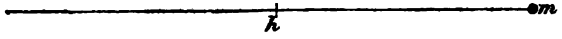
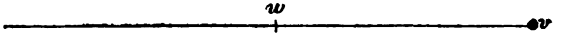



Fig. 11.




Punkt v in einer Sekunde denselben Weg vw zurück, so haben sie einerlei Geschwindigkeit.

Verschiedene Geschwindigkeiten haben sie aber, wenn der eine Punkt m in einer Sekunde einen größern Weg als der andere v zurücklegt. So

Digitized by Google

vielmal jener Weg größer als dieser ist, so vielmal größer ist auch die Geschwindigkeit von m gegen die von v. Ist (Fig. 12) der Weg hm

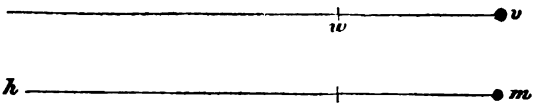



Fig. 12.

dreimal größer als der Weg vw für eine Sekunde, so hat m auch eine dreimal größere Geschwindigkeit als v.

In Worten pflegt man dieses Gesetz so auszudrücken: Für gleiche Zeiten verhalten sich die Geschwindigkeiten zweier Punkte, wie ihre zurückgelegten Wege.

Sie haben aber auch verschiedene Geschwindigkeiten, wenn der eine Punkt m denselben Weg in weniger Zeit zurücklegt, als der andere Punkt v dazu gebraucht. So vielmal jene Zeit kleiner als diese ist, so vielmal größer ist dagegen die Geschwindigkeit von m gegen die von v. Macht (Fig. 11) m den Weg mh in einem Drittel einer Sekunde, während v zu dem gleichen Weg vw eine ganze Sekunde braucht, so hat m eine dreimal größere Geschwindigkeit als v.

Dieses Gesetz pflegt man in Worten so auszudrücken: Für gleiche Wege verhalten sich die Geschwindigkeiten zweier Punkte, umgekehrt wie die dazu gebrauchten Zeiten.

Kommt der Fall vor, daß man das Verhältniß der Geschwindigkeit zweier materiellen Punkte bestimmen soll, die in ungleichen Zeiten auch verschiedene Wege zurückgelegt haben, so kann dieses dadurch geschehen, daß man den Weg eines jeden Punktes durch die Zeit dividirt, die er dazu gebraucht hat, und beide Quotienten mit einander vergleicht. Sind diese einander gleich, so haben die Punkte gleiche Geschwindigkeiten. Sind die Quotienten verschieden, so ist die Geschwindigkeit da größer, wo der größere Quotient heraus kommt, und zwar um eben so vielmal größer, so vielmal der kleinere Quotient in dem größern enthalten ist.

Macht der Punkt m (Fig. 13) in 6 Sekunden den Weg mh,

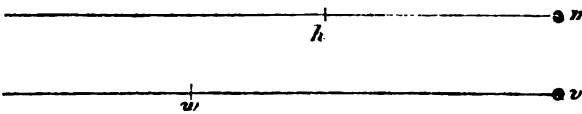



Fig. 13.

z. B. 18 Fuß, und der Punkt v in 9 Sekunden den Weg vw, z. B. 27 Fuß, so ist $^{18}/_{6} = {}^{27}/_{9} = 3$, mithin haben m und v gleiche Geschwindigkeiten.

Macht aber der Punkt m den Weg mh, z. B. 18 Fuß, in 6 Sekunden, und der Punkt v den Weg vw, z. B. 27 Fuß, in 3 Sekunden, so ist $^{18}/_{6} = 3$ und $^{27}/_{3} = 9$, mithin haben m und v ungleiche Geschwindigkeiten, und da 3 in 9 dreimal enthalten ist, so hat v eine dreimal größere Geschwindigkeit als m.

Dieses Gesetz pflegt man in Worten so auszudrücken: Für ungleiche Zeiten und ungleiche Wege verhalten sich die Geschwindigkeiten zweier Punkte, wie die Wege, dividirt durch die dazu gehörigen Zeiten.

Beispiele, welche dazu dienen, die angegebenen Gesetze zu üben, lassen sich in großer Menge auffinden; einige sollen hier angeführt werden.

Digitized by Google

## I.

1) Ein Luftballon legte 176 deutsche Meilen, die Meile zu 22843 Pariser Fuß gerechnet, in 22 Stunden zurück; wie groß war seine Geschwindigkeit? Antw. 50,7 Fuß in einer Sekunde.

2) Deßgl. eines Dampfwagens, der 3 Meilen in einer Stunde machte? Antw. 19,04 Fuß.

3) Deßgl. eines Dampfschiffes, das 18 Meilen in 9 Stunden machte? Antw. 12,7 Fuß.

## II.

Wie verhalten sich nach folgenden Angaben, die sich alle auf eine je zwei und zwei der Geschwindigkeiten?

Eine Schnecke hat eine Geschwindigkeit von 0,005 Fuß; der Rhein in Rheinpreußen 4,6 Fuß (91 Meter oder 280,13 Fuß in einer Minute); ein mäßig starker Wind 10 Fuß; ein starker Wind 50 Fuß; ein Orkan 120 Fuß; eine Büchsenkugel 1500 Fuß; eine 24pfündige Kanonenkugel 2300 Fuß; der Schall, in freier Luft, wo es eben zu frieren anfängt, 1022 Fuß; ein jeder Ort der Erde unter dem Aequator 1428 Fuß (5400 Meilen zu 22843 Pariser Fuß in 24 Stunden); unter dem 50sten Grad der Breite 918 Fuß (3471 Meilen in 24 Stunden); die Erde um die Sonne 4,1 Meilen oder 94100 Fuß (130 Millionen Meilen in 365¼ Tagen); eine Fliege beim gewöhnlichen Flug, mit angeblich 600 Flügelschlägen in einer Sekunde, 5 Fuß, gejagt, mit angeblich 4000 Flügelschlägen in einer Sekunde, 29,2 Fuß; ein Adler 95,2 Fuß; eine Brieftaube, welche 50 Meilen in 2¼ Stunden gemacht haben soll, 141 Fuß; eine andere von Lyon nach Lüttich, 125 Lieues in 5 Stunden, 95,2 Fuß, ein Falke, der von Fontainebleau bis Malta, 270 Meilen, in nicht ganz 24 Stunden flog, 71,3 Fuß; ein Windhund 78 Fuß; ein Rennthier am Schlitten 25 Fuß, ein geübter Schlittschuhläufer 36 Fuß; das Licht 42000 Meilen.

Antw. Es verhält sich z. B. die Geschwindigkeit eines Orkans zu der einer 24pfündigen Kanonenkugel wie 120:2300, oder etwa wie 1:19; die Geschwindigkeit der Achsenumdrehung unter dem Aequator gegen die des Umlaufs der Erde um die Sonne, wie 1428:94100, oder etwa wie 1:66 u. s. w.

## III.

Wie verhalten sich nach folgenden Angaben je zwei und zwei der Geschwindigkeiten?

Ein Bote A ging in 8, B in 7 Tagen 32 Meilen; eine Kugel A ging in 4, B in 7 Minuten 84 Schritte weit; der Minutenzeiger einer Uhr rückt um 60, der Stundenzeiger um 5 Minuten in einer Stunde fort; ein Punkt der Erde unter dem Aequator macht in 0,4444, und die Erde in dem Umlauf um die Sonne in 0,0067 Stunden 100 Meilen.

Antw. Es verhält sich z. B. die Geschwindigkeit des Boten A zu der des B wie 7:8 oder wie 1:1⅐ u. s. w.

## IV.

Wie verhalten sich nach folgenden Angaben je zwei und zwei der Geschwindigkeiten?

Der Erdäquator legt 5400 Meilen in 1440 Minuten zurück; der Jupiteräquator 61560 Meilen in 595 Minuten; der Sonnenäquator 611000 Meilen in 36848 Minuten.

Digitized by Google

Antw. Es verhält sich z. B. die Geschwindigkeit des Aequators der Erde zu dem Jupiters wie $\frac{5400}{1440} : \frac{61500}{595}$ oder wie 3,75 : 103,47, oder wie 1 : 27,4 u. s. w.

§ 33. (Allgemeine Ausdrücke der Geschwindigkeitsgesetze.) Ein materieller Punkt bewege sich durch einen Raum = r in der Zeit = t mit einer Geschwindigkeit = c, so ist: $c = \frac{r}{t}$.

Ein anderer Punkt lege einen Raum = k in einer Zeit = m zurück, mit einer Geschwindigkeit = h, so ist: $h = \frac{k}{m}$.

Daher verhält sich auch:

$$c : h = \frac{r}{t} : \frac{k}{m} \text{ oder}$$

$$c : h = rm : tk$$

d. i. die Geschwindigkeiten dieser beiden Punkte verhalten sich, wie die Räume dividirt durch die Zeiten, oder auch wie die Producte, welche entstehen, wenn man den Raum mit der umgekehrten Zeit multiplicirt.

Ist aber m = t, so ist: c : h = r : k

d. i. die Geschwindigkeiten verhalten sich nunmehr wie die Räume.

Ist k = r, so ist: c : h = m : t

d. i. umgekehrt wie die Zeiten.

Aus der Gleichung $c = \frac{r}{t}$ folgt ferner: r = ct, d. h. die Länge des Weges wird gefunden, wenn man Geschwindigkeit und Zeit mit einander multiplicirt.

Beispiele. 1) Bei einem Gewitter habe man 10 Sekunden nach dem Blitz den Donner gehört; wie weit ist das Gewitter noch entfernt, wenn man annimmt, daß der Schall 1040 Fuß in einer Sekunde zurück legt?

Antw. r = 1040 . 10 = 10400 Fuß, d. i. weniger als eine halbe Meile.

2) Durch wie viel Fuß bewegt sich ein Punkt der Erde unter dem Aequator in einer Minute? Antw. r = 1428 . 60 = 85680 Fuß = 3,8 Meilen.

3) Wie groß ist der Weg eines Dampfwagens in 3 Stunden, wenn er mit 24 Fuß Geschwindigkeit geht? Antw. r = 24 . 10800 = 259200 Fuß = 11,3 Meilen.

Aus der Gleichung $c = \frac{r}{t}$ ergibt sich auch $t = \frac{r}{c}$ d. h. die Zeit wird gefunden, wenn man den Weg durch die Geschwindigkeit dividirt.

Beispiele. 1) Wie viel Zeit braucht das Licht von der Sonne zur Erde, wenn man die Entfernung zu 21 Millionen Meilen annimmt? Antw. t = 21000000 : 42000 = 500 Stunden = $8\frac{1}{3}$ Minuten.

2) Wie viel Zeit braucht eine Schnecke zu einem Weg von 30 Fuß, ohne zu ruhen? Antw. 30 : 0,005 = 6000 Sekunden.

Wie viel Zeit braucht die Erde zu ihrem Umlauf um die Sonne, wenn sie 4,12 Meilen in einer Sekunde zurücklegt? Antw. t = 130000000 : 4,12 = 31553398 Sekunden = $365\frac{1}{4}$ Tage.

Digitized by Google

§ 34. (Maß bewegender Kräfte.) Das Maß der Kräfte liegt allein nur in dem Verhältniß der Wirkungen, die sie erzeugen, da die Kraft für sich selbst nie gemessen werden kann. Diese Verhältnisse sind im Allgemeinen folgende:

1) Wenn zwei Körper gleiche Massen und gleiche Geschwindigkeiten haben und sich in demselben Mittel bewegen, so ist auch die bewegende Kraft bei beiden die nämliche.

2) Haben sie gleiche Massen und ungleiche Geschwindigkeiten, so verhalten sich die bewegenden Kräfte wie die Geschwindigkeiten.

Nennt man die eine Kraft a, die andere b, die eine Geschwindigkeit c, die andere g, so ist:

$$a : b = c : g.$$

Legt ein Körper in einer Sekunde 100 Fuß, und ein anderer von derselben Masse in eben der Zeit 50 Fuß zurück, so verhalten sich ihre bewegenden Kräfte wie 50:100, d. h. wie 1:2.

3) Haben sie gleiche Geschwindigkeiten und ungleiche Massen, so verhalten sich die bewegenden Kräfte, wie die Massen.

Nennt man die eine Kraft a, die andere b, die eine Masse m, die andere p, so ist:

$$a : b = m : p.$$

Bewegt sich ein Körper von 100 ℔ mit einer gewissen Geschwindigkeit, und ein anderer von 75 ℔ mit derselben Geschwindigkeit, so verhalten sich die bewegenden Kräfte wie 100:75, d. i. wie $1 : \frac{3}{4}$, d. h. die Kraft für die 75 ℔ ist nur $\frac{3}{4}$ so groß, als die für 100 ℔. Wäre die Kraft eben so groß, so müßte der Körper von 75 ℔ eine größere Geschwindigkeit, als der von 100 ℔ haben.

4) Haben sie ungleiche Massen und ungleiche Geschwindigkeiten, so verhalten sich die bewegenden Kräfte, wie die Producte, welche entstehen, wenn man jede Masse mit ihrer Geschwindigkeit multiplicirt.

Um dies einzusehen, darf man nur einen dritten Körper sich denken, der mit dem einen die Masse und mit dem andern die Geschwindigkeit gemein hat. Nennt man die Kraft des einen Körpers a, seine Geschwindigkeit c und seine Masse m; die Kraft des andern Körpers b, seine Geschwindigkeit g und seine Masse p; die Kraft des dritten Körpers q, so verhält sich:

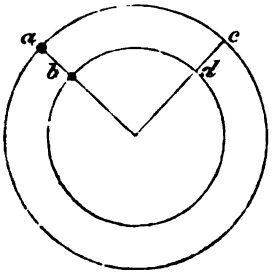
$$\begin{array}{l} 1)\ a : q = c : g \\ 2)\ q : b = m : p \\ \hline \text{also } a : b = cm : gp. \end{array}$$

Ziehet ein Mensch 30 ℔ in einer Sekunde 2 Fuß weit, und ein Pferd in eben der Zeit 200 ℔ 4 Fuß weit, so verhält sich die Kraft des Menschen zu der des Pferdes wie 60 : 800, d. i. wie $1 : 13\frac{1}{3}$.

§ 35. (Winkelgeschwindigkeit.) Ist ein Punkt in einer solchen Bewegung, daß seine ganze Bahn eine Kreislinie bildet, so nennt man das Bogenstück dieser Bahn, das der Körper in einer gewissen Zeit, z. B. in einer Sekunde, zurücklegt, die Winkelgeschwindigkeit. Die eigentliche Geschwindigkeit des Punktes in gerader Linie wird dann die lineare genannt. Da ein jeder Kreis, er mag groß oder klein seyn, in 360 Grade eingetheilt wird, so können zwei materielle Punkte eine gleiche Winkel-

Digitized by Google

Fig. 14.

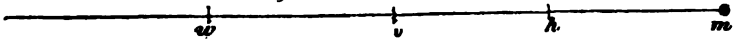



geschwindigkeit haben, während ihre linearen Geschwindigkeiten verschieden sind. Dies ist der Fall, wenn zwei Punkte a und b (Fig. 14) in concentrischen Kreisen sich bewegen, und jeder in derselben Zeit einen Bogen von gleichviel Graden, z. B. ac und bd, beschreibt. Weil nämlich ac eben so viel Grade des größern Kreises faßt, als bd vom kleinern, so haben sie dieselbe Winkelgeschwindigkeit, indessen die lineare Geschwindigkeit für ac offenbar größer ist, als für bd.

§ 36. (Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung.) Die Geschwindigkeit einer Bewegung bleibt sich entweder durchaus gleich, oder ist veränderlich. Im ersten Falle ist die Bewegung gleichförmig, im andern ungleichförmig.

Legt der Punkt m (Fig. 15) in der ersten Sekunde den Weg mh,

Fig. 15.



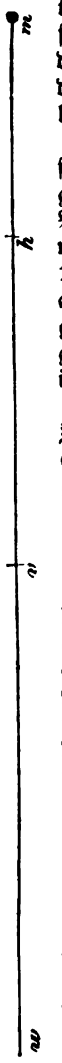

in der zweiten den Weg hv, in der dritten vw zurück, so ist er, in so fern von allen diesen Wegen jeder so groß wie mh ist, in einer gleichförmigen Bewegung. In einer solchen Bewegung ist ein Uhrzeiger, wenn er von Minute zu Minute ein gleich großes Stück des Zifferblatts durchläuft. Darum dient eine richtig gearbeitete Uhr als Maßstab für den gleichförmigen Fortgang der Zeit, wozu man sich, bis zur Erfindung der Räderuhren, die dem eilften Jahrhundert angehört, der Wasseruhren und Sanduhren bediente. Diese bestehen aus zwei kegelförmigen Urnen, wo das Wasser oder der Sand aus der obern innerhalb eines ganzen oder halben Tages, oder auch nur einiger Stunden, durch eine sehr kleine Oeffnung in die untere fließt, und durch ihr Sinken auch kleinere Zeitabtheilungen, z. B. halbe Stunden, bemerkt werden können. Da die Bewegung der Himmelskörper nur sehr wenig von der gleichförmigen Bewegung abweicht, so legte man diese der Abtheilung der Zeit zu Grunde, und theilte sie ein nach Tagen, Stunden, Minuten und Sekunden, die immer gleich groß bleiben, nach dem Umschwung der Erde um ihre Achse, und nach Jahren, nach dem Umlauf der Erde um die Sonne. Indessen gibt es in der Natur weit weniger als in dem Maschinenwesen vollkommen gleichförmige Bewegungen; zu diesen gehört besonders die Achsenumdrehung der Erde, die seit 2000 Jahren sich fast um nichts geändert hat. Dagegen ist die scheinbare Bewegung der Sonne, welche unserer gewöhnlichen Zeiteintheilung von jeher zur Grundlage gedient hat, keineswegs vollkommen gleichförmig, da der Bogen, den sie jeden Tag in ihrer Bahn zurücklegt, sich nicht von einem Mittag bis zum andern gleich bleibt. Da aber das Zeitmaß unveränderlich seyn und bleiben muß, so unterscheidet man die wahre Zeit, welche sich nach der Sonne richtet, und ungleich ist, von der mittleren Zeit, die als unveränderlich den Gang unserer Uhren regulirt, außer den Sonnenuhren, welche die wahre Zeit anzeigen. Den Unterschied dieser beiden Zeiten, der auf astronomischem Wege für jeden Tag eines jeden Jahres ermittelt wird, nennt man die Zeitgleichung. Ist die wahre Zeit vor, so muß die Zeitgleichung

Digitized by Google

abgezogen, im Gegentheil aber addirt werden, um die mittlere zu bekommen. Die größten Zeitgleichungen fallen in Februar und November; in jenem beträgt sie etwa 14 Minuten, die man zu der wahren Zeit addiren, in diesem etwa 16 Minuten, die man davon abziehen muß, um die mittlere zu erhalten. Viermal im Jahr, am 15. April, 15. Juni, 1. September und 24. December, stimmen beide Zeiten überein, daher diese Tage keine Zeitgleichung haben.

Eine ungleichförmige Bewegung ist entweder eine beschleunigte (accelerirte), oder verzögerte (retardirte), und zwar entweder ungleichförmig, oder gleichförmig beschleunigt oder verzögert.

Fig. 16. Bekommt die Geschwindigkeit in gleichen Zeitabschnit- Fig. 17.



ten ungleiche Zusätze, so heißt die Bewegung eine ungleichförmig beschleunigte. Eine solche Bewegung macht der Punkt m (Fig. 16), wenn er in der ersten Sekunde den Weg mh, in der zweiten hv, in der dritten vw zurücklegt, und die Zusätze sich nicht gleich sind.

Nimmt aber die Geschwindigkeit in gleichen Zeitabschnitten um gleich viel zu, so wird die Bewegung eine gleichförmig beschleunigte genannt. Wenn der Punkt m (Fig. 17) in der ersten Sekunde den Weg 1 macht, in der zweiten den Weg 2, der um av größer als 1 ist, in der dritten den Weg 3, der wieder um av größer als 2 ist, in der vierten den Weg 4, der wieder um av größer als 3 und so fort, der folgende Weg immer um av größer, als der zunächst vorhergehende Weg ist, so ist er in einer gleichförmig beschleunigten Bewegung.

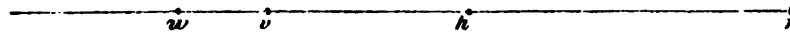
Nimmt die Geschwindigkeit einer Bewegung in gleichen Zeittheilen um ungleiche Stücke ab, so wird die Bewegung eine ungleichförmig verzögerte oder verminderte genannt. Dieses ist der Fall, wenn der Punkt m (Fig. 18) in der ersten Sekunde den Weg mh, in der zweiten hv, in der dritten vw macht, und die Abnahme sich nicht gleich ist.

Erleidet aber die Geschwindigkeit in gleichen Zeittheilen gleiche Abnahme, so nennt man die Bewegung eine gleichförmig verzögerte oder verminderte. Macht ein Punkt (Fig. 17) in der ersten Sekunde den Weg von 4 nach 3, in der zweiten von 3 nach 2, in der dritten von 2 nach 1 und in der vierten von 1 nach m, so daß allemal der folgende um av kleiner ist, als der nächst vorhergehende, so ist er in einer gleichförmig verzögerten Bewegung.

§ 37. (Einfache und zusammengesetzte Bewegung.) Bewegt sich ein materieller Punkt oder ein Körper durch den Eindruck einer einzigen Kraft, so ist er nothwendig immer in der Richtung der geraden Linie, nach der hin ihn die Kraft von Anfang an getrieben hat, der Angriffspunkt, d. i. der Punkt, an welchem die Kraft angebracht ist, mag am Ende oder innerhalb dieser Richtungslinie liegen. Nach dieser Richtung geht er, schon vermöge der Trägheit (§ 15), stets mit der gleichförmigen Geschwindigkeit fort, die

Digitized by Google

Fig. 18.




der bewegenden Kraft gemäß ist, wenn diese auch ihren Eindruck nicht erneuert, und nur sonst keine äußeren Hindernisse diesen Fortgang hemmen. Eine solche Bewegung wird deßhalb auch eine einfache Bewegung genannt, und ihre Richtung kann daher nie anders als geradlinig seyn.

Sind es zwei oder mehrere Kräfte, welche die Bewegung erzeugen, so hängt auch der Erfolg von der Art, wie jede Kraft für sich allein wirkt, besonders ab. Die Richtung, wohin eine jede Kraft wirkt, die Geschwindigkeit, die jede für sich allein der Bewegung ertheilt, und ob die Kräfte gleichzeitig zusammenwirken, oder eine nach der andern, ob sie in anhaltender oder unterbrochener Wirkung sind, alle diese Umstände müssen nothwendig auf den Gang der Bewegung von wesentlichem Einfluß seyn. Schon allein für zwei Kräfte, die zu gleicher Zeit wirken, lassen sich, in Beziehung der Richtung, wohin jede derselben für sich allein wirksam ist, drei Fälle unterscheiden:

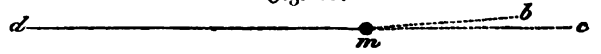
I. Wenn beide Kräfte nach einerlei Richtung wirken.

II. Wenn sie nach Richtungen wirken, die sich entgegengesetzt sind.

III. Wenn ihre Richtungen der Art sind, daß die Richtungslinien irgend einen Winkel bilden.

Es braucht wohl nur ein geringes Nachdenken, um einzusehen, daß im ersten Falle beide Kräfte als eine einzige Kraft zu betrachten sind, die für sich allein so groß ist, als die Summe dieser beiden Kräfte, und daß sie daher den Punkt oder den Körper nach der gemeinschaftlichen Richtung hin bewegen werden, und mit einer solchen Geschwindigkeit, die dieser Summe gemäß ist. Stellt m (Fig. 19) einen materiellen Punkt vor,

Fig. 19.




auf den eine Kraft b mit einer Geschwindigkeit von 5 Fuß in einer Sekunde nach der Richtung md wirkt, und mit ihr zugleich parallel eine andere Kraft c mit einer Geschwindigkeit von 7 Fuß in einer Sekunde, ebenfalls nach der Richtung md, so wird der Punkt m in dieser Richtung mit einer Geschwindigkeit von 12 Fuß in einer Sekunde sich bewegen müssen, und beide Kräfte sind als eine einzige Kraft zu betrachten, die nach der Richtung md wirkt mit einer Geschwindigkeit von 12 Fuß in einer Sekunde.

Ein Pferd, das so stark ist, als zwei andere zusammen sind, würde eine Last mit derselben Geschwindigkeit fortziehen können, mit der sie von den beiden andern fortgezogen wird, wenn sie in gleicher Richtung parallel wirken, und sonst keine beschränkenden Hindernisse dabei einwirkten. Eben darum ist die Bewegung des materiellen Punktes in diesem Falle immer noch als eine einfache Bewegung zu betrachten, und sie ist es auch dann noch, wenn selbst mehr als zwei Kräfte auf diese Weise in ihrer Wirksamkeit sich vereinigen, wie leicht zu erachten ist.

Auch der Fall, wo beide Kräfte zugleich, aber in entgegengesetzten Richtungen wirken, gibt sogleich seinen Erfolg kund; doch ist auch hier wieder zweierlei zu berücksichtigen, nämlich:

1) Die beiden sich entgegen wirkenden Kräfte sind gleich groß. In diesem Falle heben sie sich einander auf, halten sich, wie man es nennt, das Gleichgewicht, und theilen daher dem materiellen Punkt gar keine Bewegung mit; dieser bleibt also in Ruhe, als ob gar keine Kraft auf

Digitized by Google

ihn wirkte Ziehen zwei gleich ſtarke Menſchen zugleich und in gleicher Entfernung an einer Laſt, der eine auf-, der andere abwärts, ſo kann die Laſt nach keiner Richtung ſich bewegen, und bleibt in Ruhe.

2) Die beiden ſich entgegen wirkenden Kräfte ſind nicht gleich groß. In dieſem Falle können ſie ſich natürlich kein Gleichgewicht halten, wenn ſie zugleich und in gleicher Entfernung von dem materiellen Punkt wirken. Dieſer wird ſich alsdann nach der Richtung der größern Kraft bewegen, und zwar mit der Geſchwindigkeit einer Kraft, die für ſich allein ſo groß iſt, als der Unterſchied zwiſchen der kleinern und der größern Kraft beträgt. Stellt m (Fig. 20) einen materiellen Punkt vor, den eine Kraft a nach

Fig. 20.

b hin, mit einer Geſchwindigkeit von 9 Fuß in einer Sekunde zu bewegen vermag, und der eine andere Kraft b entgegenwirkt, die ihn nach a hin triebe, mit einer Geſchwindigkeit von 6 Fuß in einer Sekunde, ſo wird er nach b zu ſich bewegen, mit einer Geſchwindigkeit von 3 Fuß in einer Sekunde.

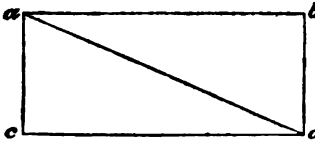
Legt man in die Schalen einer genauen Wage Gewichte ein, in die eine zwei Loth mehr, als in die andere, ſo wird jene mit einer Kraft von zwei Loth ſich neigen. Auch dieſe Bewegung gehört zu den einfachen Bewegungen.

Andere Erfolge finden aber in dem dritten Falle ſtatt, in dem Falle, wo die Richtungslinien der beiden zugleich wirkenden Kräfte einen Winkel machen. Man nennt ſolche Kräfte conſpirirende Kräfte, und die Bewegung, die ſie bewirken, wird eine zuſammengeſetzte Bewegung genannt.

Die meiſten Bewegungen, die in der Natur ſtatt haben, ſo wie die, die wir zu bewirken vermögen, gehören eigentlich in die Klaſſe der zuſammengeſetzten Bewegung, daher ihre nähere Betrachtung von großer Wichtigkeit iſt.

Wird ein materieller Punkt von zwei conſpirirenden Kräften zugleich in Bewegung geſetzt, ſo kann dieſer Punkt, da die Kräfte ſich nicht entgegen wirken, weder ruhen, noch auch nach der Richtung einer dieſer Kräfte allein ſich bewegen. Das iſt offenbar richtig, und offenbar richtig iſt es auch, daß die Bewegung des Punktes ſo ſeyn muß, daß dem Eindruck beider Kräfte dadurch Genüge geleiſtet werde. Der Punkt wird demnach einen Weg nehmen müſſen, der zwiſchen den beiden Wegen liegt, die er zu gleicher Zeit durchlaufen müßte, wenn er jeder Kraft allein folgen könnte. Wie aber dieſer mittlere Weg für jeden beſondern Fall auch beſonders beſtimmt werden kann, läßt ſich folgendermaßen einſehen.

Fig. 21.




Der Punkt a (Fig. 21) werde durch eine Kraft in einer gewiſſen Zeit bis nach b bewegt. In eben dieſer Zeit ſollte er aber auch, durch den Eindruck einer andern Kraft, bis nach c ſich bewegen. Obgleich nun der Punkt am Ende dieſer Zeit nicht in b und in c ſelbſt ſeyn kann, wenn beide Kräfte zugleich auf ihn wirken, ſo wird er jedoch alsdann an einem Orte ſich befinden müſſen, der dem Eindruck beider Kräfte gemäß iſt. Da man nun ſtatt ab die ihr gleiche und gleichlaufende Rich-

Digitized by Google

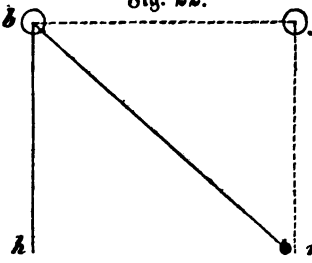
tung cd, und ſtatt ac ebenfalls die ihr gleiche und gleichlaufende Richtung bd annehmen kann, ſo wird der Punkt den beiden Kräften genügen, wenn er am Ende der Zeit in d ſich befindet. Geht er nun in dieſer Zeit von a bis d, ſo hat er wirklich dem gleichzeitigen Eindruck beider Kräfte Folge geleiſtet, daher ad ſein mittlerer Weg iſt.

Das Viereck, welches durch die Zeichnung der gleichen und gleichlaufenden Richtungen mit ab und ac entſteht, gehört in die Klaſſe der Vierecke, bei welchen zwei einander gegenüberſtehende Seiten gleich und gleichlaufend ſind, und ein ſolches Viereck wird ein Parallelogramm genannt, daher man es hier das Parallelogramm der Kräfte nennt. Eine gerade Linie ad, die innerhalb einer Figur von einem Winkelpunkt zum andern geht und keine Seite der Figur iſt, wird eine Diagonallinie genannt. Man bedient ſich daher auch dieſer Benennungen, um das Geſetz für die zuſammengeſetzte Bewegung in Worten auszudrücken, indem man ſagt: wenn ein materieller Punkt von zwei Kräften zugleich getrieben wird, die unter einem gewiſſen Winkel auf ihn wirken, ſo durchläuft er die Diagonale des Parallelogramms der Kräfte in eben der Zeit, in welcher er die einzelnen Seiten dieſes Parallelogramms zurückgelegt hätte, wenn er nach der Richtung der einen und der andern Kraft zugleich gehen könnte.

Noch pflegt man auch die beiden Kräfte, die unter dem Winkel bei dem Punkt a zuſammen treffen, die Seitenkräfte oder die äußern Kräfte zu nennen, hingegen die Kraft, welche ihn durch die Diagonale führt, mit dem Namen Diagonalkraft, mittleren Kraft, reſultirenden Kraft zu belegen, daher man die Bewegung in der Diagonallinie eine reſultirende Bewegung, eine mittlere Richtung nennt.

Mit Hülfe einer Diagonalmaſchine kann man die Wirkung der Diagonalkraft auch durch Verſuche beſtätigen. Von ſolchen Maſchinen gibt es mehrere Arten.

Fig. 22.

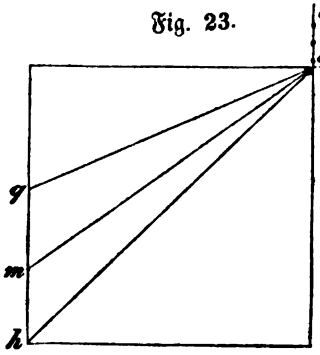



1) Die Diagonalmaſchine mit Rollen (Fig. 22). Ein Körper m hängt an einer Schnur, die bei g und b um eine Rolle geht. Die Rolle bei b ſitzt feſt, und dient bloß dazu, die Lage der Schnur in der Richtung gb zu erhalten. Die Rolle bei g iſt aber ſelbſt beweglich, und zieht, wenn ſie fortrückt, die Schnur und den daran hängenden Körper m nach h. Wird nun hinter b, z. B. bei h, an der Schnur gezogen, ſo müßte dieſe mit dem Körper m nach der Richtung mg in die Höhe gehen. Indem nun der Körper beiden Kräften Folge leiſtet, geht er in der Richtung der Diagonallinie von m nach b in die Höhe.

Iſt der Körper oben bei b, ſo gehet er ebenſo in der Richtung bm wieder herab, wenn die bewegliche Rolle von b nach g zurück rückt, und bei h die Schnur nachgelaſſen wird. Ungefähr ſolcher Vorrichtungen bedient man ſich auch, wenn in theatraliſchen Vorſtellungen Götterwagen auf die Bühne herunter gelaſſen oder hinauf gezogen werden ſollen.

Digitized by Google

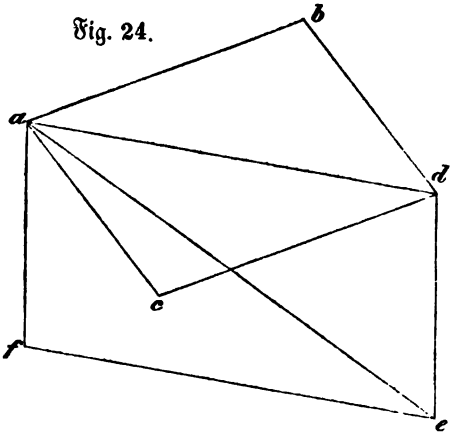
Fig. 23.




2) Die Diagonalmaschine mit Hämmern (Fig. 23). An einem möglichst glatt gehobelten Brette, das die Form eines Parallelogrammes hat, und ringsum mit Leisten versehen ist, stehen in der Ecke d zwei Hämmer aufrecht, die vermittelst der Fäden dc und dk nach c und k sich aufheben lassen. Legt man vor diese Hämmer eine Kugel, so geht diese, wenn man beide Hämmer zugleich gegen sie anschlagen läßt, in irgend einer Diagonallinie, z. B. nach dq, dm, dh fort.

Aber nicht nur für zwei Kräfte, die unter einem gewissen Winkel auf einen materiellen Punkt wirken, kann man die mittlere Richtung durch Construction des Parallelogramms der Kräfte bestimmen, auch für drei, vier und noch mehr Kräfte, die gemeinschaftlich unter verschiedenen Winkeln auf einen materiellen Punkt wirken, kann man die resultirende Bewegung construiren. In diesem Falle bestimmt man erst die mittlere Richtung für zwei Kräfte, bestimmt alsdann die mittlere Richtung zwischen der gefundenen Diagonale und der dritten Kraft, eben so die mittlere Richtung zwischen dieser neuen Diagonale und der vierten Kraft, und setzt dieses Verfahren so lange fort, bis man endlich die mittlere Richtung aller vorhandenen Kräfte bestimmt hat, welche durch die letzte, auf die angegebene Weise gefundene Diagonale sich ergibt. Die Zeichnung (Fig. 24) erläutere dieses für drei conspirirende Kräfte.

Fig. 24.




Der Punkt a werde von drei Kräften getrieben, von welchen die eine ihn in einer gewissen Zeit nach b, die andere nach c, die dritte nach f bringen werde. Denkt man sich vorerst die dritte noch weg, so ergibt sich, durch die Construirung des Parallelogramms der Kräfte, ad als die mittlere Richtung für die zwei andern Kräfte. Man betrachte nun die gefundene Diagonale ad und die dritte Kraft, die unter dem Winkel fad conspiriren, als zwei Seitenkräfte, von denen die eine den Punkt a in einer gewissen Zeit nach d, die andere nach f bringen werde, und construire das Parallelogramm dieser beiden Kräfte. Ziehet man dann die Diagonale ae, so gibt diese die mittlere Richtung zwischen ad und af an, und da ad schon die mittlere Richtung zwischen ab und ac ist, so ist nunmehr ae die mittlere Richtung für die drei Seitenkräfte.

Wie groß auch die Anzahl der Seitenkräfte seyn mag, so kann doch

Digitized by Google

zuletzt eine Diagonale gefunden werden, in welcher die mittlere Richtung von allen diesen Kräften sich darstellt. Da aber eine Diagonale nichts Anderes als eine gerade Linie ist, so wird jede zusammengesetzte Bewegung, die eine Wirkung conspirirender Kräfte ist, auf eine einfache reducirt, weil man sich denken kann, daß eine einzige Kraft den materiellen Punkt nach der Richtung der Diagonale bewege.

§ 38. (Zerlegung der Kräfte.) Ist nun die Bewegung eines Punktes wirklich nur eine einfache, so kann man umgekehrt sie als eine zusammengesetzte ansehen, die durch zwei oder mehrere Seitenkräfte entstanden sey, indem man die gerade Linie, welche die Richtung der einfachen Bewegung angibt, als Diagonale irgend eines oder mehrerer Parallelogramme betrachtet. Eine einfache Bewegung als eine zusammengesetzte darstellen, und die Seitenkräfte construiren, die für die zusammengesetzte Bewegung conspiriren müßten, um der einfachen an Erfolg gleich zu seyn, wird die Zerlegung der Kräfte genannt. Gesetzt, der Punkt a (Fig. 21. S. 60) bewege sich, von einer einzigen Kraft getrieben, in einer gewissen Zeit von a bis d, so kann man sich diese Bewegung auch als Wirkung der beiden Seitenkräfte ac und ab vorstellen, und ad in diese beiden Kräfte zerlegt denken. Diese Zerlegung kann man, so weit man will, fortsetzen. So ist (Fig. 25) die Kraft mn in gm und mb zerlegt durch das Parallelo-

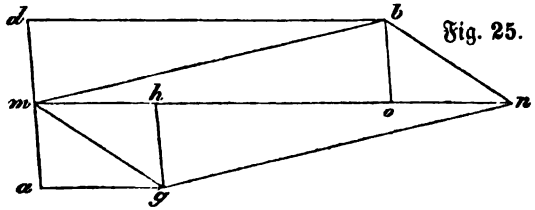


Fig. 25.

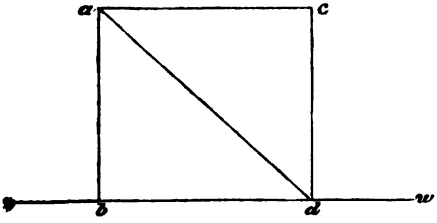
gramm gb; gm ist ebenfalls in ga und ma zerlegt durch das Parallelogramm ah; mb ist eben so in mo und md zerlegt durch das Parallelogramm mb. Das Verfahren, wodurch die Zerlegung construirt wird, ist folgendes: an die Linie ad (Fig. 21. S. 60), die man zerlegen will, setze man entweder unter einem verlangten, oder, wo es angeht, unter einem beliebigen Winkel, die Linie ab, von bestimmter oder beliebiger Länge, und ziehe bd. Sodann zeichnet man das Dreieck abd auch jenseits von ad, wodurch dann ad in die beiden Seitenkräfte ac und ab zerlegt ist, deren Wirkung ebenfalls ad ist.

Auf die Frage: wozu denn diese Zerlegung eigentlich diene? gibt die Mechanik vielfältige Antwort; doch kann sie auch dem Freunde der Naturkunde nicht unerörtert gelassen werden, und wenigstens auf eine allgemeine Weise muß ihm der Nutzen dieser Zerlegung bekannt seyn. Von diesem kann man sich einen Begriff machen, wenn man bedenkt, daß eine Kraft nur dann mit ihrer ganzen Stärke auf eine Fläche wirkt, wenn diese senkrecht von der Kraft getroffen wird. Wirkt aber eine Kraft in schiefer Richtung auf die Fläche, so geht ein Theil ihrer Stärke verloren. Wird z. B. die Oberfläche einer Kugel von einer Kraft getroffen, die genau nach dem Mittelpunkte der Kugel geht, so wirkt sie in senkrechter Richtung, sonst aber in schiefer Richtung auf die Kugel, und geschickte Billardspieler wissen sehr gut, wie viel darauf ankommt, diese oder jene Richtung zu erwirken, wenn sie es auch nur allein aus Erfahrung gelernt

Digitized by Google

haben. Wo es aber darauf ankommt, den Theil zu bestimmen, der von der Kraft durch die schiefe Richtung verloren geht, muß man zu der Zerlegung der Kräfte seine Zuflucht nehmen. In diesem Falle betrachtet man die schief wirkende Kraft als eine zusammengesetzte, und zeigt, daß eine der Seitenkräfte gar nicht, und nur die andere allein auf die Fläche wirke, daß mithin jene für die Wirkung verloren gehe. Dieses tritt ein, wenn die eine Seitenkraft eine Richtung bekommt, die mit der Fläche gleichlaufend ist, wo sie dann diese gar nicht treffen, daher auch nicht auf sie wirken kann, indessen die andere die Fläche senkrecht trifft, und für sich allein die Wirkung vollführt. Bliebe aber auch diese noch als schief wirkende Kraft übrig, als eine Kraft, von der wieder etwas verloren geht, so müßte durch weitere Zerlegung abermals der verloren gehende Theil gesucht werden, und dieses so lange, bis man endlich die senkrecht wirkende Kraft gefunden hat, die mit ihrer ganzen Stärke auf die Fläche wirkt, und die allein die Bewegung veranlaßt. Man stelle sich unter vw (Fig. 26) die Gränze einer Fläche vor, auf welche eine Kraft in der schiefen Richtung ad wirkt. Zerlegt man diese Kraft in zwei Seitenkräfte, von welcher die eine ab die Fläche senkrecht trifft, die andere ac aber mit der Fläche gleichlaufend ist, so geht von der Kraft ad der Theil ac verloren, und nur der andere Theil ab oder cd übt eine Wirkung auf sie aus. Der so vielste Theil nun ab von ad ist, so viel beträgt der Theil, der von ad auf die Fläche wirksam ist. Wäre ab nur $^3/_5$ von ad, so wirkt auch nur $^3/_5$ von der Kraft auf die Fläche.

Fig. 26.



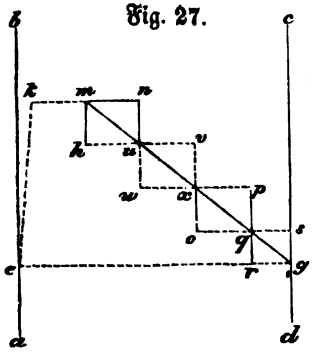

§ 39. (Einiges zur Erläuterung.) Beispiele, wodurch die Gesetze für die zusammengesetzte Bewegung und die Zerlegung der Kräfte erläutert werden können, gibt es eine große Menge. Einige mögen hier Platz finden.

1) Ein Kirschkern, eine Erbse, zwischen den Daumen und Zeigefinger gelegt und fortgeschnellt, fährt so ziemlich nach dem Ort hin, auf den man zielt; denn der eine Finger sucht ihn rechts, der andere links zu treiben, seine mittlere Richtung geht daher nach dem Ziel. Ist man aber im Augenblick des Fortschnellens selbst in starker Bewegung, so trifft man auch das Ziel nicht mehr, wohin man schnellt, weil der fortgeschnellte Körper zugleich auch die Geschwindigkeit des Schnellers hat, und nunmehr von drei conspirirenden Kräften getrieben wird, deren mittlere Richtung vom Ziel verschieden ist.

2) Ein Kahn, der von dem Ufer eines Stromes nach dem gegenüber liegenden gebracht werden soll, würde den gegenüber liegenden Ort, wo er landen soll, nicht erreichen, wenn er der Gewalt des Stromes allein überlassen bliebe. Der Färcher muß dieser Gewalt durch seinen Fahrbaum entgegen arbeiten. Dadurch wird der Kahn von zwei conspirirenden Kräften getrieben, und kommt daher in schiefer Richtung an dem bestimmten Landungsplatz an. Stellt ab (Fig. 27) das eine, und cd das andere Ufer vor, und der dazwischen liegende Strom fließe von e nach d, so kann man, um von e nach g zu gelangen, nicht in der Richtung eg fahren, denn die Gewalt des Stromes würde den Kahn weiter abwärts nach d

Digitized by Google

Fig. 27.




hin treiben. Der Färcher fährt daher noch dicht am Ufer, wo der Strom die geringste Gewalt hat, stromaufwärts, etwa bis nach k, und erst von da aus treibt er den Kahn in den Strom. Dieser würde ihn von m nach h treiben, der Färcher aber steuert nach n hin, daher der Kahn nach m u geht. So geht es nun immerfort nach u x, x q und endlich nach q g. Dadurch aber, daß der Strom unausgesetzt auf den Kahn wirkt, der Fahrbaum hingegen in kleinen Absetzungen, entstehen eine Menge sehr kleiner Parallelogramme, deren mittlere Richtungen von dem Kahn zurückgelegt werden. Je reißender ein Strom und je höher sein Wasserstand ist, desto mehr muß stromaufwärts gefahren werden, und desto größer ist die Anstrengung, um richtig an g zu landen.

3) Jemand, der in einem Schiffe fährt, und einen Ball senkrecht in die Höhe zu werfen sucht, gibt sich vergebliche Mühe, was derjenige am besten bemerkt, der ruhig am Ufer steht und dem Spiele zusieht. Denn der Mensch folgt mit dem Ball, den er in der Hand hält, der horizontalen Bewegung des Schiffes, und der Ball wird daher, in dem Augenblick, wo er senkrecht in die Höhe fahren soll, von zwei Kräften getrieben, deren mittlere Richtung schief ist.

4) Dasselbe Bewandtniß hat es auch mit den Künsten der sogenannten englischen Bereiter, wenn einer von einem galoppirenden Pferde weg durch einen Reif springt, und dennoch wieder auf das Pferd zu stehen kommt, das unterdessen seinen Galopp fortsetzte. Es ist nicht Jedermanns Sache, auf einem galoppirenden Pferde im Gleichgewicht sich zu erhalten; hat er es aber einmal dahin gebracht, so hat es mit dem Sprung weiter nicht viel auf sich. Denn da der Reiter auf dem galoppirenden Pferde steht, so hat er auch dieselbe Geschwindigkeit, die das Pferd hat. Durch seinen Sprung in die Höhe wird er nun von zwei conspirirenden Kräften getrieben, von denen die eine nach der horizontalen Richtung des Pferdes, die andere nach der Richtung des Sprunges geht, deren mittlere Richtung den Reiter wieder auf das Pferd zurück führt. Wollte aber Jemand den Versuch machen, durch einen Reif auf ein galoppirendes Pferd zu springen, ohne vorher auf diesem Pferde gestanden zu haben, so wird ihm dieses sicherlich nicht gelingen; er wird alsdann hinter dem Pferde hinstürzen, dessen Geschwindigkeit er vor dem Sprunge nicht getheilt hat. Wie es zugehe, daß man im schnellen Reiten, beim Schlittschuhlaufen und dergleichen schnellen Bewegungen einen Ball in die Höhe werfen, und doch wieder auffangen kann, ist nun leicht zu erklären.

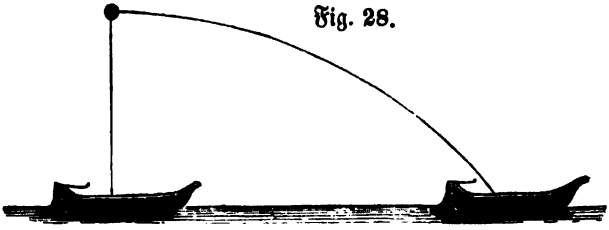
5) Ein Stein, der von dem Mastbaume eines Schiffes auf das Verdeck geworfen wird, fällt auch wirklich darauf, und nicht in das Wasser hinter dem Schiffe hin, wenn gleich das Schiff noch so schnell segelt. Denn der Stein wird von zwei conspirirenden Kräften getrieben, und hat die Geschwindigkeit des Schiffes, zu dem er gehört, und die des Wurfes nach dem Verdecke; die mittlere Richtung dieser zusammengesetzten Bewegung trifft nun wieder auf das Verdeck hin, das unterdessen fortgesegelt



Digitized by Google

ist. Zu bemerken ist aber, daß diese mittlere Richtung bogenförmig, nicht geradlinig wird (Fig. 28).

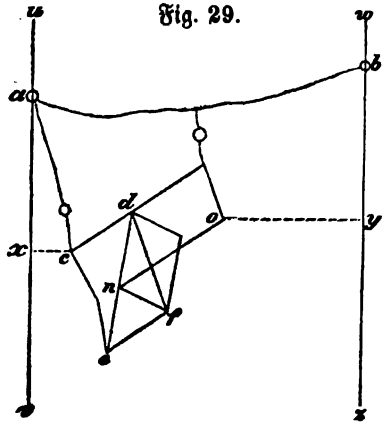
Fig. 28.



6) Will man aus einem Wagen, der in schnellem Fahren begriffen ist, herausspringen, so wird in dem Augenblick des Sprunges dem Körper eine zusammengesetzte Bewegung zu Theil, und da die Geschwindigkeit des Wagens größer ist, als die des Sprunges, so wird die Gefahr, unter den Wagen zu stürzen, um so größer, je mehr die Richtung des Sprunges der Richtung des Wagens entgegengesetzt ist. Daher man in keinem Fall nach den Hinterrädern, sondern so viel als möglich nach der Richtung hin springen muß, die der Wagen hat.

7) Fliegende Brücken werden von einem Ufer eines Flusses zum andern gleichsam, wie von selbst, getrieben. Wie dieses zugehe, läßt sich auf folgende Art einsehen: u v (Fig. 29) bedeute das eine, w z das andere Ufer eines Flusses, der von w nach z fließt. Ein langes Seil a b ist quer über den Fluß gezogen, und an diesem ist die Brücke, mit welcher man von x nach y übersetzen will, durch Stricke befestigt. Damit sich diese Stricke leicht auf dem Seil verschieben lassen, gehen sie über Rollen. Ist die Brücke erst vom Ufer abgestoßen, so wird der Strick am hintern Ende nachgelassen, der am vordern Ende aber bleibt kurz, wodurch die Brücke in ein schiefe Lage kommt. Blieben die Stricke an beiden Enden gleich lang, so würde die Brücke, von dem Seile gehalten, gar nicht von der Stelle kommen können, während sie in dieser schiefen Lage von dem Stoß des Wassers fortbewegt werden kann.

Fig. 29.



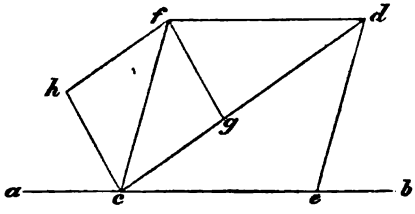

Eben darum aber, daß die Kraft schief auf die Fläche der Brücke wirkt, geht ein Theil derselben verloren, und dieser läßt sich durch die Zerlegung der Kräfte bestimmen. Angenommen, der Stoß wirke nach der Richtung d e, so kann man ihn in zwei Seitenkräfte c d und d f zerlegen, und da d c mit der Fläche der Brücke gleichlaufend ist, so ist sie der Theil, der von der Kraft des Stoßes verloren geht, und es bleibt nur noch d f übrig. Da aber das Seil der Kraft d f entgegen wirkt, so kann die Brücke in dieser Richtung sich ebenfalls nicht bewegen, daher auch diese wieder in ihre Seitenkräfte zerlegt werden muß; n d sey die eine, d o die andere dieser beiden Seitenkräfte. Indem nun das Seil der Kraft

Digitized by Google

in der Richtung d n widersteht, bleibt nur noch die für die Richtung d o frei, und in dieser Richtung wird denn auch die Brücke von x nach y durch den Stoß des Wassers gebracht.

8) Ein papierner Drache, der gehörig verfertigt ist, steigt in die Höhe durch den horizontalen Stoß der Luft, den man dadurch noch verstärkt, daß man anfangs mit der Schnur, woran der Drache hängt, dem Winde schnell entgegen läuft. Da aber dieser Stoß, nach Art wie der Drache steigt, schief auf ihn wirkt, so geht ein Theil der Kraft dadurch verloren, und der eigentlich wirksame Theil muß, wie bei der fliegenden Brücke, durch die Zerlegung der Kräfte bestimmt werden.

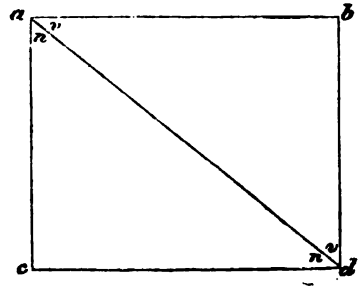
Fig. 30.




Stellt (Fig. 30) a b den Durchschnitt von der Fläche eines Drachen vor, und c d den horizontalen Windstoß, der schief bei c den Drachen trifft, so läßt sich die Kraft des Stoßes in die beiden Seitenkräfte c f und c e zerlegen. Da c e auf den Drachen nicht wirken kann, so bleibt nur noch c f übrig. Aber auch von c f geht noch ein Theil verloren, wie man sieht, wenn man auch diese in c h und c g zerlegt, wo dann die Kraft c h als die eigentlich wirkende übrig bleibt. Je größer diese ausfällt, desto höher muß der Drache steigen.

§ 40. (Trigonometrische Formeln.) Der Satz von dem Parallelogramm der Kräfte, der in der Lehre von der Bewegung so reich an Anwendungen ist, läßt sich auch trigonometrisch berechnen, da die Trigonometrie uns in den Stand setzt, jede Construktion, von welcher die nöthigen Stücke bekannt sind, in eine Rechnung zu verwandeln. Für denjenigen, der mit den Anfangsgründen der ebenen Trigonometrie vertraut ist, hat dieses den Vortheil, daß er dadurch zu allgemeinen Formeln gelangt, aus denen er nach Erforderniß das Verhältniß der Seitenkräfte zu einander, das Verhältniß jeder Seitenkraft zur mittlern Richtung, die Länge der Diagonallinie in Beziehung auf die Seitenkräfte und den Winkel, den sie einschließen, so wie den Winkel, unter welchem sie in jedem besondern Fall wirken müssen, auf eine Weise bestimmen kann, die auf jeden vorkommenden Fall anwendbar und weit genauer als die Construktion ist. Für Leser, die bereits einige mathematische Vorkenntnisse besitzen, wird diese Betrachtung nicht ohne Interesse seyn; andere, die noch nicht so weit sind, können sie überschlagen.

Fig. 31.




In dem Parallelogramm (Fig. 31) sei a b die Richtung der einen, a c die der andern Seitenkraft, die unter einem Winkel c a b wirken; a d bezeichne die mittlere Richtung, die den Winkel c a b in die Winkel n und v theilt. Der kürzern Darstellung wegen setze man:

$$a b = g;\quad a c = h;\quad a d = q$$

so hat man folgende Proportionen:

$$1)\ g : h = \sin. n : \sin. v$$

d. h. die Seitenkräfte verhalten sich umgekehrt wie die Sinuse der an der Diagonale liegenden Winkel (oder sie



Digitized by Google

verhalten sich wie die Sinuse der innern Wechselwinkel, die an dem andern Endpunkt der Diagnole, bei d, liegen).

Aus dieser Proportion folgt:

$$\text{I.}\quad g = \frac{h \,.\, \sin n}{\sin v}$$

$$\text{II.}\quad h = \frac{g \,.\, \sin v}{\sin n}$$

$$\text{III.}\quad \sin n = \frac{g \,.\, \sin v}{h}$$

$$\text{IV.}\quad \sin v = \frac{h \,.\, \sin n}{g}$$

wo also allemal aus drei Stücken ein viertes berechnet werden kann. Gesetzt, um nur ein Beispiel anzuführen, es sey die Seitenkraft g zu berechnen, und man wisse, h wäre 20 Fuß, n wäre 30 Grad, und v wäre 50 Grad, so ist:

$$\log. g = \log. 20 + \log. \sin. 30^0 - \log. \sin. 50^0$$

also: $\log. g = 1{,}1157460$

daher: $g = 13{,}054$ Fuß.

2) $g : q = \sin. n : \sin. cab.$

3) $h : q = \sin. v : \sin. cab.$

d. h. jede Seitenkraft verhält sich zur Diagonale, wie sich der Sinus des anstoßenden Winkels (oder des innern Wechselwinkels, der bei d liegt) verhält zum Sinus des Winkels, den die Seitenkräfte bilden. Jede dieser Proportionen gibt wiederum vier Gleichungen, aus denen sich irgend eine der darin vorkommenden Bestimmungen berechnen läßt. Wollte man z. B. q berechnen, wenn g, n und cab bekannt sind, so findet sich:

$$q = \frac{g \,.\, \sin. cab}{\sin. n.}$$

Ist $g = 8$ Fuß, $cab = 120^0$; $n = 30^0$, so ist $q = 13{,}8564$ Fuß.

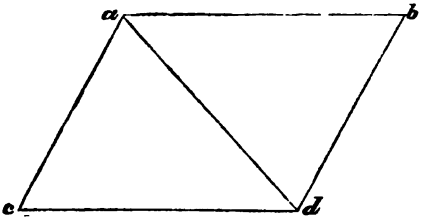
4) Kann auch die mittlere Kraft berechnet werden, wenn die beiden Seitenkräfte und der Winkel bekannt sind, den sie bilden.

I. Ist dieser Winkel ein rechter, so ist schon nach dem pythagoräischen Lehrsatz:

$$q = \sqrt{g^2 + h^2}$$

II. Ist dieser Winkel stumpf (Fig. 32), so liegt die Diagonale

Fig. 32.

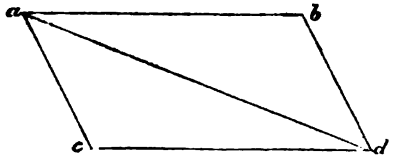



dem spitzen Winkel c und dem ihm gleichen b gegenüber. In diesem Falle ist:

$$q = \sqrt{g^2 + h^2 - 2gh \,.\, \cos. cab.}$$

Digitized by Google

Fig. 33.




III. Ist dieser Winkel spitz, (Fig. 33), so liegt die Diagonale dem stumpfen Winkel c und dem ihm gleichen b gegenüber. In diesem Falle ist:

$$q = \sqrt{g^2 + h^2 + 2gh \cdot \cos cab.}$$

d h. die mittlere Richtung wird gefunden:

I. Wenn die beiden Seitenkräfte unter einem rechten Winkel wirken, indem man jede Seitenkraft auf das Quadrat erhebt, beide Quadrate addirt, und aus ihrer Summe die Quadratwurzel zieht.

II. Wenn die beiden Seitenkräfte unter einem stumpfen Winkel wirken, indem man, vor Ausziehung der Quadratwurzel, erst von der Summe der beiden Quadrate das Doppelte der Seitenkräfte, multiplicirt mit dem Cosinus des Winkels, unter welchem sie wirken, abzieht.

III. Wenn die beiden Seitenkräfte unter einem spitzen Winkel wirken, indem man, vor Ausziehung der Quadratwurzel, zu der Summe der beiden Quadrate noch addirt, was beim stumpfen Winkel davon abgezogen wird.

Diese Formeln schließen alle einzelnen Fälle ein, die auf sie Beziehung haben, und dienen nicht nur zur Bestimmung der mittleren Kraft allein, sondern auch zur Entwickelung einer der Seitenkräfte, so wie des Winkels, unter welchem sie für jeden besondern Fall wirken müssen, wenn von den Bestimmungen, die in der Gleichung für q vorkommen, nur eine unbekannt, die andern aber bekannt sind, wie Jeder weiß, der mit den Gleichungen umgehen kann.

Bleiben wie nur dabei stehen, daß q bestimmt werden soll, so lassen sich schon mancherlei Schlüsse aus den Formeln ableiten.

1) Sind die Seitenkräfte gleich, also $g = h$, und wirken sie unter einem rechten Winkel, so ist das Parallelogramm ein Quadrat. Alsdann ist:

$$q = \sqrt{2g^2} = g\sqrt{2}$$

2) Je spitziger der Winkel cab für dieselben Seitenkräfte wird, desto größer, und je stumpfer er wird, desto kleiner muß die mittlere Richtung werden. Sind die Seitenkräfte einander gleich, und ist $cab = 120°$, so wird die mittlere Richtung gerade so groß als eine dieser Seitenkräfte. So groß als beide Seitenkräfte zusammen kann aber die mittlere Richtung nie werden, weil in einem Dreieck eine Seite nie so groß als zwei andere zusammen seyn kann.

Für den Fall, wo die Seitenkräfte gleich sind, und $cab = 120°$ ist, kommt folgende Rechnung: es sey jede Seitenkraft = 55 Fuß, so ist:

$$q = \sqrt{2 \cdot 55^2 - 2 \cdot 55^2 \cdot \text{Cos. } 120°}$$

Nun ist:

log. cos. $120° =$ log. cos $60° = 9{,}6989700$

ferner: log. $2 \cdot 55^2 =$ log. $6050 = 3{,}7817554$

$13{,}4807254$

ab: $10$

$3{,}4807254$

wozu die Zahl 3025 d. i. $55^2$ gehört, also:

$$q = \sqrt{2 \cdot 55^2 - 55^2} = \sqrt{55^2} = 55 \text{ Fuß.}$$

Digitized by Google

Auch für die Zerlegung der Kräfte kann man allgemein gültige trigonometrische Formeln finden. Stellt man sich die schief wirkende Kraft ad (Fig. 26) als Halbmesser eines Kreises vor, der aus d beschrieben ist, so ist ad der Sinus totus, und ab der Sinus von bda. Demnach hat man die Proportion:

$$\text{sin. tot.} : \text{sin bda} = \text{ad} : \text{ab}$$

also, da Sinus tot. = 1

$$\text{ab} = \text{ad} \,.\, \text{sin. bda}$$

Wäre ad = 5 Fuß, und wirkte die Kraft unter einem Winkel bda = 40°, so ist:

$$\text{ab} = 5 \,.\, \text{sin. } 40^\circ$$

$$\log. \text{ab} = \log. 5 + \log. \text{sin. } 40^\circ - 10$$

$$\text{also ab} = 3{,}21 \text{ Fuß}.$$

§ 41. (Centralbewegung.) Sowohl für die einfache, als zusammengesetzte Bewegung ist die Bahn immer eine gerade Linie. Gebrochen ist die Bahn, wenn die Bewegung aus einer Reihe meßbarer gerader Linien besteht, von denen allemal eine mit der andern, die mit ihr zusammenhängt, einen Winkel macht (Fig. 34). Wird aber die Bahn in jedem Moment neuerdings gebrochen und werden dadurch die geraden Stücke, aus denen sie besteht, so sehr klein, daß deren Länge gar nicht anzugeben ist, und alle zusammen gleichsam nur ein einziges Stück ausmachen, so wird sie, in dieser unendlichen Brechung, zur krummen Linie sich gestalten. Denkt man sich die Bahn am (Fig. 35) aus solchen unendlich kleinen Stückchen zusammen gesetzt, unter solchen Winkeln, daß alle einzelnen Stückchen zu einem einzigen Stück zusammenfallen, so ist am eine krumme Linie.

Fig. 31.

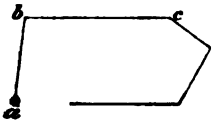
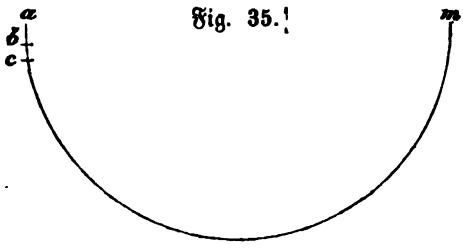
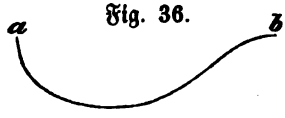



Fig. 35.




Schon eine gebrochene Bahn (Fig. 34) erfordert, wie man weiß, wenigstens zwei Kräfte, wenn der Punkt a von b aus seine Richtung verlassen und nach bc gehen soll, daher die krummlinige Bewegung eine Wirkung von wenigstens zwei Kräften seyn muß, von denen überdieß eine gewiß immerwährend wirksam bleibt, indem sonst die Bahn nicht in jedem Moment sich verändern und krummlinig werden kann. Auf jeden Fall ist also eine krummlinige Bewegung auch eine zusammengesetzte Bewegung. Sie kann aber von der Art seyn, daß der Punkt, wie bei der geradlinigen Bewegung, sich immer weiter von seinem ersten Ort entfernt (Fig. 36), oder von der Art seyn, daß der Punkt nach einem andern Punkte c (Fig. 37 und 38), der außerhalb seiner Bahn liegt, immerfort hingezogen

Fig. 36.




Digitized by Google

Fig. 37.

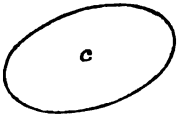
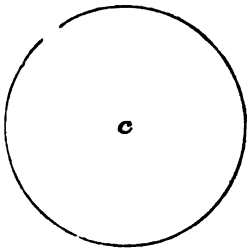


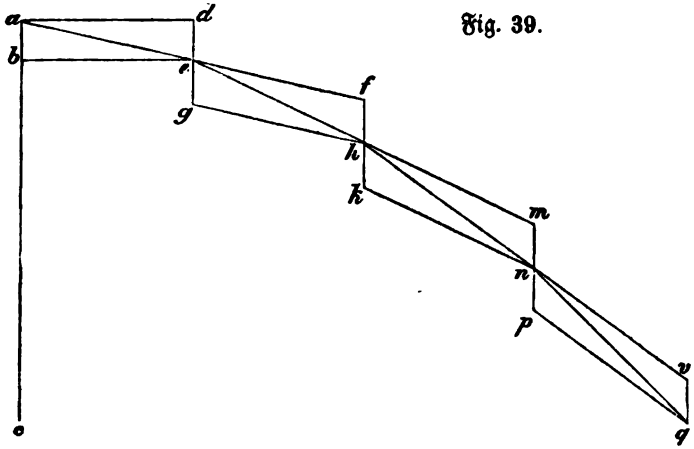

Fig. 38.




wird, ohne zu ihm gelangen zu können, und daß seine Bahn eine in sich selbst zurücklaufende krumme Linie bildet, wo dann der bewegte Punkt zuletzt wieder an den Ort gelangt, von dem er ausgegangen ist. In diesem letzten Falle wird die krummlinige Bewegung eine Centralbewegung genannt. Zu einer Centralbewegung werden demnach zwei Kräfte erfordert, die einen Punkt so bewegen, daß er dabei immer in Beziehung auf einen andern Punkt, den Mittelpunkt der Kräfte, bleibt, der außer seiner Bahn eine unverrückte Lage behält, und um den er sich herumbewegt. Von einer solchen Bewegung kann man sich mit Hülfe des Parallelogramms der Kräfte belehren.

Ein Punkt a (Fig. 39) werde von einer Kraft so nach c getrieben,

Fig. 39.




daß er in einer gewissen Zeit den Weg ab zurücklegen müßte. Eine andere Kraft, die zugleich auf ihn wirkt, conspirire mit der vorigen unter einem Winkel bad, und suche den Punkt a in eben der Zeit nach ad zu treiben. Der Weg, den nun der Punkt in dieser Zeit nehmen muß, kann, wie man weiß, kein anderer als die Diagonale ae sein. Von e aus würde er nun, vermöge der Trägheit, in derselben Zeit von e nach f, in der Verlängerung von ae, fortgehn, in welcher er von a nach e ging. Wirkt aber die Kraft, die ihn nach c zu ziehen sucht, von e aus abermals auf ihn ein, so daß sie ihn nunmehr nach g zu ziehen strebt, und eg = ab würde, so wird er jetzt abermals eine mittlere Richtung eh nehmen müssen. In dem dritten Zeittheil würde der Punkt, vermöge der Trägheit, nach hm, der Verlängerung von eh, bis m gehen, geht aber, da er wieder nach c hingezogen, und nach hk = eg getrieben wird, in der Diagonale hn. Setzt man diese Betrachtung und die dazu gehörige Zeichnung fort, so wird man bald einsehen, daß dadurch, daß der Punkt a an gewissen Stellen seiner Bahn

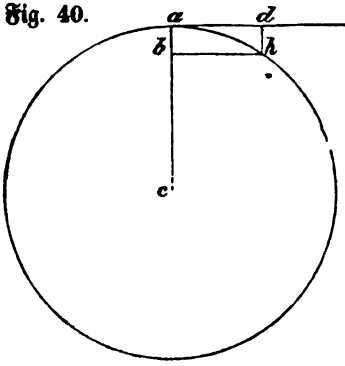
Digitized by Google

immer aufs neue nach c hingezogen wird, in einer gebrochenen Bahn ae, eh, hn, nq u. s. w. um den Punkt c sich bewegen müsse.

Ist aber die Kraft, die ihn nach c zu ziehen sucht, nicht nur dann wirksam, wenn er gewisse Stellen seiner Bahn erreicht hat, sondern unausgesetzt in jedem Moment thätig, so daß die Diagonalen, aus denen die gebrochene Bahn besteht, unendlich klein werden, so muß sich die gebrochene Bahn in eine krumme Bahn verwandeln, die eine innere Höhlung gegen c zu hat.

Die Kraft, welche den Punkt a unausgesetzt nach c hinzuziehen strebt, wird die Centripetalkraft genannt, und die andere Kraft, durch welche der Punkt a ein Bestreben bekommt, in der Richtung einer geraden Linie, welche die krumme Bahn berührt, fortzurücken, heißt die Tangentialkraft. In so fern nur der Punkt a (Fig. 40) durch die Wirkung der Tangentialkraft ae und der unausgesetzten Thätigkeit der Centripetalkraft ac eine krumme Linie durchläuft, stehen die Richtungen beider Kräfte in jedem Punkt der krummen Bahn senkrecht auf einander, weßhalb man die Centripetalkraft auch die Normalkraft, und ihre Richtung die Normal-Linie nennt.

Fig. 40.




Dadurch, daß die Tangentialkraft mit der immerfort thätigen Centripetalkraft zugleich auf den Punkt a wirkt, geht er in einer unendlich kleinen Zeit durch den als unendlich klein anzunehmenden Bogen ah (Fig. 40). Dieser Bogen kann daher als die Diagonale zwischen der Tangentialkraft ad und der Centripetalkraft ab betrachtet werden. Ohne Mitwirkung der Centripetalkraft würde der Punkt a, nur der Tangentialkraft folgend, in der geraden Linie ad fortgegangen seyn, und sich demnach, um so viel dh beträgt, von dem Mittelpunkt der Kräfte entfernt haben. Daher denn auch dh der Theil der Tangentialkraft ist, welcher, in der Zusammenwirkung mit der Centripetalkraft, dieser entgegenwirkt, und da er ihr gleich ist, sie aufhebt. Deßwegen hat man dh mit dem Namen der Centrifugalkraft oder der Fliehkraft belegt.

Centripetalkraft und Centrifugalkraft führen zusammen den Namen Centralkräfte.

So viel ist nun aus der bisherigen Auseinandersetzung klar, daß zu jeder Centralbewegung Centralkräfte, die aus einer Normal- und Tangentialkraft entspringen, erforderlich sind, und daß der bewegte Punkt nach der Richtung von einer dieser Kräfte allein fortgehen würde, wenn die andere ihre Wirkung nicht mehr mit verrichtet. Hörte die Tangentialkraft zu wirken auf, so würde der Punkt nach dem Mittelpunkt der Kräfte hineilen, indem er dann der Normalkraft allein folgte, und so würde er, hörte diese zu wirken auf, in der Richtung der Tangente oder Berührungslinie fortgehen, und so immer weiter von dem Mittelpunkt der Kräfte entfernt werden.

Da es aber sehr viele Arten von krummen Linien gibt, so ist erst noch das Gesetz zu bestimmen, aus welchem sich ableiten läßt, was für eine

Digitized by Google

krumme Linie für jeden besondern Fall durch die Centralbewegung zum Vorschein kommen müsse.

Die Auffindung dieser Gesetze gehört aber zu den schwierigern Theilen der mathematischen Wissenschaften, die uns allein in den Stand setzen, sie durch Rechnung zu bestimmen. Die Lehre von den Kegelschnitten, d. h. von den verschiedenen Schnitten, die sich an einem Kegel machen lassen, dessen Grundfläche eine Kreis ist, und zu denen, außer der geraden Linie, der Kreis, die Ellipse, die Parabel und Hyperbel gehören, ist für Physik und Astronomie besonders wichtig und anwendbar.

Nicht nur die Bewegungen der Himmelskörper, auch eine Menge anderer Erscheinungen lassen sich durch die Wirkung der Centralkräfte erklären, von denen hier einige angeführt werden sollen.

1) Man befestige einen Faden, an dessen anderm Ende ein Gewichtchen hängt, das ihn in lothrechter Spannung erhält. Der Faden stellt hier die Centripetalkraft vor, und sucht das Gewichtchen nach dem Aufhängepunkt zu ziehen; seine Spannung ist eine Wirkung der Centrifugalkraft, indem das Gewichtchen zu fallen sucht, und sich so von dem Aufhängepunkt zu entfernen strebt. Zieht man das Gewichtchen seitswärts und gibt ihm einen Stoß, so fängt es nun kreisförmig zu schwingen an. Ist die Schwingung so stark, daß sie die Cohäsion des Fadens aufhebt, so muß dieser reißen, und das Gewichtchen geht dann fallend in die Richtung der Tangente seitwärts fort.

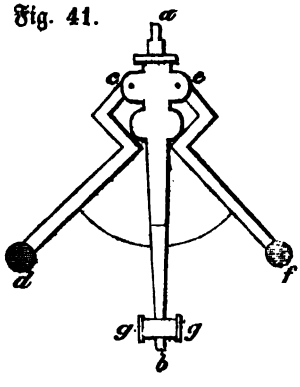
2) Man lege einen Stein in eine Schleuder, die man schnell im Kreise herumschwingt; der Stein fällt nicht aus der Schleuder heraus. Die Schleuder sammt dem Steine wird von der Hand, als von einer Centripetalkraft, gehalten, eine Centrifugalkraft sucht den Stein von der Hand wegzutreiben, daher er um die Hand herumschwingen kann.

3) Derselbe Versuch läßt sich mit einem Glas voll Wasser machen, das in einem Faßreifen steht. Auch dieses kann um einen Finger, an dem der Reif hängt, schnell geschwungen werden, ohne daß dabei ein Tropfen Wasser verloren geht.

4) Die überwiegende Wirkung der Schwungkraft macht auch, daß beim schnellen Fahren die Wagenräder Sand und Koth, die an ihnen hängen, weit fortschleudern, und daß ein nasser Schleifstein, der schnell gedreht wird, das Wasser auf seiner Oberfläche weit umherspritzt.

5) Der Centrifugalregulator, den die Engländer Regulator oder Governor nennen. Derselbe besteht aus einer lothrechten Spindel ab (Fig. 41), die bei a und b zwei Zapfen hat, um welche sie sich, vermittelst einer um die Rolle g geschlungenen Schnur, drehen läßt. An der Spindel sind zwei Stäbe cd und ef angebracht, die, so lange die Spindel in Ruhe ist, lothrecht herabhängen. Am Ende der Stäbe sitzen die beiden ziemlich schweren Kugeln d und f, die Schwungkugeln genannt. So wie sich nun die Spindel um ihre Achse dreht, so fangen auch diese Kugeln zu schwingen an, und bringen die Stäbe aus ihrer lothrechten Lage heraus, desto mehr, je stärker die Spindel gedreht wird. An Stäben und Kugeln zeigen sich dann die Wirkungen der Centralkräfte. Die eigentliche Bestimmung der

Fig. 41.




Digitized by Google

Maſchine iſt aber eine techniſche, da ſie, mit andern Maſchinen verbunden, dazu dient, die Geſchwindigkeit derſelben zu meſſen und nach Belieben zu reguliren, weßhalb ſie auch ein Regulator genannt wird. Am häufigſten wird ſie bei Dampfmaſchinen angewandt. Zur Verbindung dieſer Maſchine mit andern Maſchinen, z. B. Dampfmaſchinen, dient ein an dem Ringe e angebrachter Hebelsarm, an welchem eine Stange befeſtigt iſt. Dieſe ſchließt, wenn die Kugeln beim Schwingen eine gewiſſe Höhe erreicht haben, das Dampfrohr, um die Zuſtrömung des Dampfes zu hemmen, oder öffnet ein Ventil, um die Kraft des Dampfes zu mindern, oder verſperrt den Zutritt der Luft zum Feuer, um die Hitze zum mäßigen und dergl. m.

---

## Viertes Kapitel.

### Gravitation.

§ 42. (Allgemeine Bemerkungen.) Es iſt allgemein bekannt, daß jeder Körper, der aus einer wägbaren Materie beſteht, ſogleich zu Boden fällt, ſo wie ihm die Unterlage genommen wird, auf der er ruhen kann, daß er einen Faden anſpannt, an dem er hängt, und daß er eine Wage aus dem Gleichgewicht bringt, durch den Druck, den er auf die Schale ausübt, in der er liegt, wenn die andere Schale keinen völlig gleichen Gegendruck hat, ja wir fühlen dieſen Druck, wenn wir einen ſolchen Körper auf die Hand legen, oder ſonſt wo auf uns ruhen laſſen. Dieſe Erſcheinungen, für den ohne Reiz, der das Alltägliche gedankenlos an ſich vorübergehen zu laſſen gewohnt iſt, haben dagegen für Alle, denen die Augen des Geiſtes geöffnet ſind, und die den unwiderſprechlichen Grundſatz feſthalten, daß jede Erſcheinung, als eine Wirkung, auch eine Urſache haben müſſe, von jeher und zu allen Zeiten ein ſo hohes Intereſſe gehabt, daß ſie nicht umhin konnten, der Ergründung derſelben ihr ganzes Nachdenken zu widmen. Groß iſt aber auch die Menge der Fragen, die ſich dem geiſtig Thätigen bei dieſen und damit verwandten Erſcheinungen gleichſam von ſelbſt aufdringen. Ich werfe einen Stein in die Höhe; wie hoch und mit welcher Gewalt ich ihn auch werfe, er kommt doch allemal wieder zu mir zurück. Warum ſteigt der Stein nicht fort, und welche Kraft bringt dieſe willenloſe, träge Maſſe wieder zur Erde zurück? Wohin müßte er denn endlich fallen, wenn er nirgends eine Unterlage fände, auf der er ruhen könnte? Fiel er vielleicht durch die ganze innere Erde, um, wenn es möglich wäre, auf einem diametraliſch entgegengeſetzten Punkt der Oberfläche derſelben wieder zum Vorſchein zu kommen? Würde er alsdann da ohne Unterlage ruhen können, oder würde er nunmehr immer weiter ſteigen, oder wieder zu mir zurückfallen müſſen? Iſt ſein Druck auf die Unterlage ebenfalls eine Wirkung dieſer Kraft, und wie weit erſtreckt ſie ſich? Gibt es vielleicht im Innern der Erde einen Ort, wo dieſer Druck ganz aufhört? Auch merke ich wohl, daß der Stein im Fallen mit jedem Augenblick eine größere Geſchwindigkeit erlangt, und durch immer größere Räume fällt; auf welche Weiſe und nach welchem Geſetze erfolgen dieſe Zunahmen? Der ſcharfe Denker, der Urſache und Wirkung zu unterſcheiden weiß, wird in ſeinen Forſchungen nicht einmal bei den Erſcheinungen der wägbaren irdiſchen Körper allein ſtehen bleiben. Da Alles, was wäg-

Digitized by Google

bar ist, fallen muß, wenn ihm die Unterlage fehlt, welche Kraft hält denn die Erde selbst, daß sie nicht fallen kann? Woran hängt die Erde? Hat, wie schon in Hiob gesagt ist,*) Gott die Erde an Nichts gehängt, welches Etwas hält sie denn, daß sie nicht längst schon aus ihrer Bahn um die Sonne gestürzt ist, oder in die Sonne, um die sie doch in immer gleichbleibender Entfernung sich bewegt? Ist diese Bewegung ebenfalls eine Wirkung derselben Kraft, die den Fall des Steins verursacht? Sollte es wiederum dieselbe Kraft seyn, die den Mond um die Erde, jeden Planet um die Sonne in bestimmten Bahnen führt und sie abhält, daß sie nicht in einander und in die Sonne stürzen können? Was endlich hält die ganze Schöpfung, das ganze Universum, daß es nicht zu einem neuen Chaos zusammenstürzt, zu Nichts zusammenfällt?

Die einfachste und natürlichste Annahme rücksichtlich der erwähnten Wahrnehmungen bei den irdischen Körpern ist wohl die, daß alle irdischen Körper von der Erde, durch eine Anziehungskraft, die sich von den Molekularkräften dadurch unterscheidet, daß sie schon in beträchtlichen Entfernungen wirksam ist, festgehalten werden. Eben solche Anziehungen lassen sich auch in der ganzen Natur voraussetzen, deren Wirksamkeit sich von einem Weltkörper auf den andern erstrecke, und denkende Naturforscher, die viele Jahrhunderte vor Christi Geburt gelebt haben, sind schon auf die Idee gerathen, daß alle Materie gleichsam einen gemeinschaftlichen Centralpunkt habe, nach dem sie hinstrebe. Für so einfach und naturgemäß aber auch diese Voraussetzungen zu halten seyn mögen, so sind es im Grunde doch immer nur hypothetische Meinungen, die so lange wenig oder nichts bedeuten, so lange man nicht auch die Gesetze mathematisch zu bestimmen weiß, nach welchen diese Kräfte wirken und die einzelnen Erscheinungen sich gestalten. Erst den Bemühungen der Naturforscher, mit welchen seit drei- bis vierhundert Jahren eine neue Epoche für die Wissenschaft anbrach, und unter denen Kepler, vor allen aber der große Britte Isaak Newton die ersten Stellen einnehmen, verdanken wir die zuverlässigen, auf Rechnung gegründeten Kenntnisse dieser Gesetze. Je tiefer man in den Geist dieser bewunderungswürdigen Gesetze eindringt und damit vertraut wird, desto klarer und bestimmter zeigt sich die vorausgesetzte Anziehungskraft in Uebereinstimmung mit den Erfolgen, und die Basis, von welcher aus alle aufgeworfenen Fragen vollständig beantwortet werden können, steht fest und unerschütterlich. Hieran läßt sich denn auch der Physiker genügen; ihm ist es genug, die Gesetze zu kennen, nach welchen diese Anziehung wirkt. Das eigentliche Wesen dieser magischen Kraft, die man die allgemeine Anziehung, die allgemeine Gravitation nennt, kann weder in der Erfahrung, noch mit der Vernunft ergründet werden, so wenig als die Art und Weise, wie sie ihre Wirksamkeit äußert, ob durch Stoß, oder durch wirklichen Zug aus dem Innern der Körper ausgehend, ob mittelbar, durch eine höchst subtile Materie, oder unmittelbar, durch eine innere Neigung der Körper gegen einander. Die Auflösung dieser Fragen, wie sehr man auch schon darüber speculirt hat, liegt jenseit unserer geistigen Thätigkeit, so sehr es auch gewiß ist, daß der allmächtige Urheber der Natur nur dieses unsichtbare Band lösen dürfte, um das ganze Weltall in ein Chaos zu verwandeln.

§ 43. (Erdschwere.) Durch die Anziehung, welche die Erde auf alle irdische Körper ausübt, sind diese in einer beständigen und unauflöslichen

*) Cap. 26, V. 7.

Digitized by Google

Verbindung mit der Erde; keiner kann sich von ihr entfernen, keiner von ihr wegfliegen; wie hoch er sich auch erhebe, immer muß er wieder einmal zu ihr zurückkehren. Nicht ein Wassertröpfchen, nicht ein Sonnenstäubchen geht ihr verloren, und Alles, was seit ihrem Ursprung Körperliches auf ihr vorhanden war, ist auch jetzt und immer noch vorhanden, obgleich es Gestalt und Bestandtheile fort und fort verändert hat, und auf die mannigfachste Weise stets verändern kann. Diese Anziehung offenbart sich in dem Fall der Körper nach dem Innern der Erde, wenn sie nicht gehalten oder unterstützt sind, in dem Druck, den sie auf die Unterlage ausüben, auf der sie ruhen, in dem Anspannen eines Fadens, an dem sie aufgehängt sind. Die Anziehungskraft selbst, deren Gesetze wir genau kennen, deren Ursprung aber uns völlig unbekannt ist, wird die Schwerkraft, auch wohl nur die Schwere genannt.

Wenn man sagt, daß das Bestreben, nach dem Innern der Erde zu fallen, allen irdischen Körpern zukomme, so geht man vorerst dabei von der Voraussetzung aus, daß die Luft, welche leichte Körperchen, wie feine Federchen, feinen Staub, einen papiernen Drachen, einen Luftballon, dampfförmige Körper und noch viele andere zu tragen und gegen den Fall mehr oder minder zu schützen vermag, keinen Widerstand leiste, oder man nimmt an, daß der Körper in einem Raume falle, der völlig luftleer sey. Man nennt dieses den freien Fall der Körper. Erst nachdem man mit den Gesetzen des freien Falles sich bekannt gemacht hat, kann man, wo von ihrer Anwendung auf einen bestimmten Fall die Rede ist, auf die Umstände Rücksicht nehmen, die hier eintreten, und zu bestimmen suchen, in wie fern diese die gefundenen Gesetze abändern und beschränken.

§ 44. (Wechselseitige Anziehung.) Aber nicht nur von der Erde werden alle irdischen Körper angezogen, sie ziehen sich auch unter einander selbst schon in gewissen Entfernungen an. Die Anziehung ist überhaupt wechselseitig, und der Körper, der einen andern anzieht, wird auch immer wieder von diesem angezogen. Man kann sich hiervon (§ 26) vermittelst der Drehwage (Fig. 4. S. 31) überzeugen, wenn man eine Kugel von irgend einer Materie gegen ein Ende der Nadel o oder d wirken läßt. War die Nadel vorher in Ruhe, und findet zwischen ihr und der Kugel eine wechselseitige Anziehung wirklich statt, so wird sie aus der Lage, welche sie in dem Zustand der Ruhe hatte, schon heraustreten, ehe noch die Kugel mit ihr in eigentliche Berührung kommt. Dieß ereignet sich auch wirklich, und kann an dem Winkel wahrgenommen werden, den die Nadel macht, wenn sie ihre Lage verändert. Wegen der weit größern Anziehung der ganzen Erdmasse gegen jeden einzelnen irdischen Körper ist jedoch die Anziehung dieser einzelnen Körper unter sich, in so fern sie nicht in Berührung kommen, nur unter gewissen Umständen und selten wahrnehmbar, da diese gegen jene gehalten unsern Sinnen ganz entschwindet.

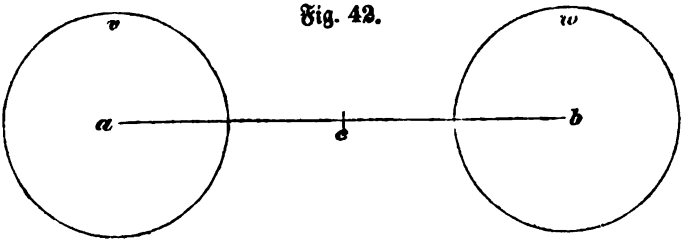
§ 45. (Verhältniß zwischen Anziehung und Masse.) Ueberhaupt muß man, um die Wirkungen der Schwerkraft aus dem rechten Gesichtspunkt zu betrachten, die Massen der Körper, die sich einander anziehen, mit in Anschlag bringen, indem ein Körper, der von zwei andern angezogen wird, nothwendig von demjenigen unter ihnen eine so vielmal stärkere Anziehung erleidet, so vielmal seine Masse in der Masse des andern anziehenden Körpers enthalten ist. Mit andern Worten, bei gleicher Entfernung eines angezogenen Körpers von zwei andern, die ihn anziehen, muß die Stärke der Anziehung dasselbe Verhältniß wie die anziehenden Massen haben.

Digitized by Google

Die Richtigkeit dieser Behauptung fließt aus dem Wesen der Anziehung von selbst, wenn man bedenkt, daß jedes Element einer Masse bei der Anziehung mitwirkt, und daß, wo mehr Masse ist, auch mehr Elemente wirksam sind. Wo also millionenmal mehr Masse bei gleicher Entfernung einen Körper anzieht, muß die Stärke der Anziehung auch millionenmal größer seyn.

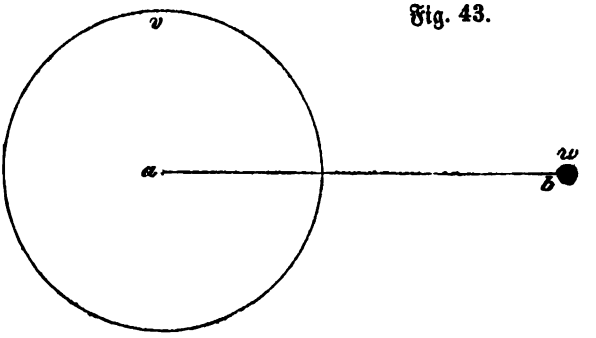
Weil die Anziehung der Körper gegen einander wechselseitig ist, die eine Masse v (Fig. 42) die andere Masse w anzieht, aber auch wieder

Fig. 42.




von w angezogen wird, so wird sowohl v als w in Bewegung gerathen, die Geschwindigkeit aber, mit welcher jede Masse ihre Bewegung vollführt, wird jedoch von dem Verhältniß der beiden Massen abhängen. Sind die Mittelpunkte a und b der beiden sich anziehenden Massen um die Linie ab von einander entfernt, so kann man sich ihre gegenseitige Anziehungskraft in der Mitte c dieser Linie vereinigt vorstellen und annehmen, daß sie von diesem Punkte aus auf jede Masse hinwirke. Sind nun beide Massen einander gleich, so werden sie, indem sie sich mit gleicher Geschwindigkeit einander nähern, in der Mitte ihrer Entfernung von einander zusammentreffen. Stellt man sich unter v die ganze Erdmasse vor, und unter w eine eben so große andere Masse, die von der Erde angezogen wird, so wird diese auch die Erde mit derselben Stärke nach sich hinziehen, und beide müßten, wenn sie bloß dieser wechselseitigen Anziehung allein folgten, mit gleicher Geschwindigkeit sich bewegend, in dem Punkt c zusammentreffen, der in der Mitte ihrer Entfernung liegt. Sind beide Massen ungleich, ist (Fig. 43) v größer als w, mithin die Anziehung von v auf w verhält-

Fig. 43.



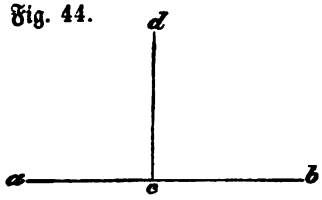

nißmäßig größer als die Anziehung von w auf v, so werden sie sich mit einer Geschwindigkeit gegen einander bewegen, die zu ihren Massen ein umgekehrtes Verhältniß hat. Denn offenbar muß dann die kleinere Masse

Digitized by Google

w, auf welche die stärkere Anziehung von v wirkt, sich um so geschwinder gegen v bewegen, als v sich gegen w bewegt, um so vielmal w in v enthalten ist. Hat w hundertmal weniger Masse als v, so wird w mit hundertmal mehr Geschwindigkeit gegen v, als diese gegen w sich bewegen. Vermittelst der Zeichnung kann man sich dieses versinnlichen, wenn man die Linke ab, welche beide Mittelpunkte mit einander verbindet, in 101 gleiche Theile getheilt denkt. Die Masse w wird dann 100 solche Theile zurücklegen, während v nur einen Theil zurücklegt. Ist nun w nur ein äußerst kleiner, fast für nichts zu achtender Theil von v, so wird die Geschwindigkeit von w gegen v sehr groß werden, während die Geschwindigkeit, mit welcher v gegen w sich bewegt, gar nicht mehr wahrnehmbar seyn kann. Die größere Masse v wird daher in diesem Falle völlig so gut wie gar nicht sich bewegen, und nur die kleinere Masse w in wahrnehmbarer Bewegung gegen v seyn. Dieß ereignet sich dann auch zwischen der Erdmasse und den einzelnen irdischen Körpern. Wie groß auch ein solcher seyn mag, und wäre es die höchste Bergmasse, so ist er doch gegen die Masse der ganzen Erde so gut wie nichts, er wird also wohl von der Erde, diese aber von ihm so gut wie gar nicht angezogen, mithin dadurch auch gar nicht in Bewegung gerathen.

§ 46. (Richtung der Schwerkraft.) Die Richtung, nach welcher ein Körper einen Faden anspannt, woran er hängt, auf seine Unterlage drückt und im freien Falle fällt, wenn ihm diese fehlt, ist senkrecht oder vertical. Die Linie cd (Fig. 44), welche diese Richtung bezeichnet, macht demnach mit der Horizontalfläche ab, oder mit der Oberfläche eines stillstehenden Wassers rechte Winkel acd und bcd. An dem Bleiloth, wie an jedem schweren Körper, der an einem Faden hängt, kann man diese senkrechte Richtung deutlich sehen.

Fig. 44.




§ 47. (Fallräume.) Der freie Fall, wobei keine andere Kraft, als nur allein die Schwerkraft wirkt, gehört in die Klasse der gleichförmig beschleunigten Bewegungen. Die Räume, durch welche ein Körper nach und nach fällt, müssen daher von Sekunde zu Sekunde zunehmen, ja schon von einem untheilbaren Augenblick zum andern einen Zuwachs erhalten. Hiervon sich zu überzeugen, ist nicht schwer. Man bedenke nur, daß ein jeder freifallender Körper schon vermöge der Trägheit gleichförmig in jeder Sekunde durch denselben Raum fallen müßte (Fig. 15. S. 57), wenn die Schwerkraft nur in dem Augenblick auf ihn wirkte, wo er zu fallen beginnt, ohne ihre Wirkung während der Dauer des Falles zu erneuern. Dem ist aber nicht so; die Schwerkraft ist ja eine beständige, in jedem Moment des Falles ohne Unterlaß stets fortwirkende Kraft, wodurch denn auch die Fallräume nothwendig immerfort wachsen müssen. Hätte nun Jemand bemerkt, daß ein freifallender Körper am Ende der ersten Sekunde 15 Fuß tief gefallen sey, und wollte durch die Regel Detri bestimmen, daß er in 10 Sekunden 150 Fuß hoch herabgefallen seyn müsse, so würde diese Rechnung nothwendig ganz falsch seyn, weil sie auf den Gang einer bloß gleichförmigen, nicht aber einer gleichförmig beschleunigten Bewegung basirt wäre.

Um nun die Räume zu bestimmen, die ein Körper in der gleichförmig beschleunigten Bewegung des freien Falles von Sekunde zu Sekunde zurück-

Digitized by Google

legt, kann man sich vorerst eine Sekunde in 10 gleiche kleinere Zeittheile eingetheilt denken, und sich vorstellen, daß der Körper in dem ersten Zehntel durch eine gewisse Länge, z. B. fingerslang, herabfalle. Im zweiten Zehntel fällt er, vermöge der Trägheit, abermals so fingerslang, und noch einen solchen dazu, vermöge der neuen Einwirkung der Schwerkraft. Im zweiten Zehntel fällt also der Körper durch zwei solche Längen, durch die er im ersten Zehntel einmal gefallen ist. Im dritten Zehntel fällt er wieder zwei fingerslang, vermöge der Trägheit, und noch einen solchen dazu, vermöge der neuen Einwirkung der Schwerkraft. Im dritten Zehntel fällt er daher durch eine Länge, die dreimal so groß ist, als die Länge des ersten Zehntels. Setzt man diese Betrachtung fort, so findet sich, daß der Körper in jedem folgenden Zehntel allemal um eine solche Länge, wie die war, die er im ersten Zehntel einmal durchfiel, seinen Fall beschleunigt, daß er daher im zehnten Zehntel durch 10 solcher Längen fallen muß. Tabellarisch geordnet, erhält man folgende Uebersicht, nämlich:

Für die erste Sekunde:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Im ersten | Zehntel | fällt | er | durch | 1 |
| „ zweiten | „ | „ | „ | „ | 2 |
| „ dritten | „ | „ | „ | „ | 3 |
| „ vierten | „ | „ | „ | „ | 4 |
| „ fünften | „ | „ | „ | „ | 5 |
| „ sechsten | „ | „ | „ | „ | 6 |
| „ siebenten | „ | „ | „ | „ | 7 |
| „ achten | „ | „ | „ | „ | 8 |
| „ neunten | „ | „ | „ | „ | 9 |
| „ zehnten | „ | „ | „ | „ | 10 |

In allen zehn Zehnteln der ersten Sekunde ist demnach der Körper zusammen durch 55 solcher Längen gefallen, wie die war, durch die er im ersten Zehntel einmal fiel. Wäre sein Fall nur gleichförmig und nicht auch beschleunigt gewesen, so könnte er in diesen zehn Zehnteln in Allem nur durch 10 solche Längen gefallen seyn.

Eine weitere Fortsetzung dieser Betrachtung gibt die dazu dienliche tabellarische Uebersicht für noch mehr Sekunden, von denen jede allemal in Zehntel getheilt ist, in folgender Ordnung, nämlich:

Für die zweite Sekunde:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Im ersten | Zehntel | fällt | er | durch | 11 |
| „ zweiten | „ | „ | „ | „ | 12 |
| „ dritten | „ | „ | „ | „ | 13 |
| „ vierten | „ | „ | „ | „ | 14 |
| „ fünften | „ | „ | „ | „ | 15 |
| „ sechsten | „ | „ | „ | „ | 16 |
| „ siebenten | „ | „ | „ | „ | 17 |
| „ achten | „ | „ | „ | „ | 18 |
| „ neunten | „ | „ | „ | „ | 19 |
| „ zehnten | „ | „ | „ | „ | 20 |

In allen zehn Zehnteln der zweiten Sekunde ist demnach der Körper zusammen durch 155 solcher Längen gefallen.

Für die dritte Sekunde:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Im ersten | Zehntel | fällt | er | durch | 21 |
| „ zweiten | „ | „ | „ | „ | 22 |

Digitized by Google

Im dritten Zehntel fällt er durch 23
„ vierten „ „ „ „ 24
„ fünften „ „ „ „ 25
„ sechsten „ „ „ „ 26
„ siebenten „ „ „ „ 27
„ achten „ „ „ „ 28
„ neunten „ „ „ „ 29
„ zehnten „ „ „ „ 30

In allen zehn Zehnteln der dritten Sekunde fällt er demnach durch 255 solcher Längen.

Für die vierte Sekunde:

Im ersten Zehntel fällt er durch 31
„ zweiten „ „ „ „ 32
„ dritten „ „ „ „ 33
„ vierten „ „ „ „ 34
„ fünften „ „ „ „ 35
u. s. w.

In allen zehn Zehnteln der vierten Sekunde fällt er demnach durch 355 solcher Längen.

Für die fünfte Sekunde:

Im ersten Zehntel fällt er durch 41
„ zweiten „ „ „ „ 42
u. s. w.

In allen zehn Zehnteln der fünften Sekunde fällt er daher durch 455 solcher Längen.

Für die sechste Sekunde:

Im ersten Zehntel fällt er durch 51
„ zweiten „ „ „ „ 52
u. s. w.

In allen zehn Zehnteln der sechsten Sekunde fällt er daher durch 555 solcher Längen.

Für die siebente Sekunde:

Im ersten Zehntel fällt er durch 61
„ zweiten „ „ „ „ 62
u. s. w.

In allen zehn Zehnteln der siebenten Sekunde fällt er daher durch 655 solcher Längen.

Für die achte Sekunde:

Im ersten Zehntel fällt er durch 71
„ zweiten „ „ „ „ 72
u. s. w.

In allen zehn Zehnteln der achten Sekunde fällt er daher durch 755 solcher Längen:

Für die neunte Sekunde:

Im ersten Zehntel fällt er durch 81
„ zweiten „ „ „ „ 82
u. s. w.

In allen zehn Zehnteln der neunten Sekunde fällt er daher durch 855 solcher Längen.

Digitized by Google

Für die zehnte Sekunde:
Im ersten Zehntel fällt er durch 91
„ zweiten „ „ „ „ 92
u. s. w.

In allen zehn Zehnteln der zehnten Sekunde fällt er daher durch 955 solcher Längen.

In Beziehung auf den Raum, durch den der Körper in dem ersten Zehntel der ersten Sekunde fiel, sind die Fallräume von Sekunde zu Sekunde durch alle zehn Sekunden gewachsen, nach den Verhältniß der Zahlen:

55. 155. 255. 355. 455. 555. 655. 755. 855. 955.

Bei so kleinen Fallräumen, wie der, den ein Körper in einem Zehntel einer Sekunde fällt, wird das Verhältniß des Fallraums von einer Sekunde zur andern nur wenig gestört, wenn man die Verhältnißzahlen durchgehends durch 10 dividirt, und den Bruch $^5/_{10}$ oder $^1/_2$, der immer mit herauskommt, außer Acht läßt. Die ganzen Zahlen, die bei dieser Division herauskommen, nämlich:

5. 15. 25. 35. 45. 55. 65. 75. 85. 95.

lassen sich aber durchgehends noch durch 5 dividiren, und dadurch erhält man bequeme Verhältnißzahlen für den Fallraum von einer Sekunde zur andern, die sich tabellarisch, wie folgt, ordnen:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| In der | 1. | Sekunde | fällt | der | durch | 1 | Raum |
| „ „ | 2. | „ | „ | „ | „ | 3 | „ |
| „ „ | 3. | „ | „ | „ | „ | 5 | „ |
| „ „ | 4. | „ | „ | „ | „ | 7 | „ |
| „ „ | 5. | „ | „ | „ | „ | 9 | „ |
| „ „ | 6. | „ | „ | „ | „ | 11 | „ |
| „ „ | 7. | „ | „ | „ | „ | 13 | „ |
| „ „ | 8. | „ | „ | „ | „ | 15 | „ |
| „ „ | 9. | „ | „ | „ | „ | 17 | „ |
| „ „ | 10. | „ | „ | „ | „ | 19 | „ |

Noch genauer richtig werden diese Verhältnißzahlen, wenn man in Gedanken die Sekunde in mehr als zehn Theile, etwa in tausend Theile, getheilt denkt, weil da der weggelassene Bruch noch viel unbedeutender wird, und in der That gar nicht mehr beachtet zu werden braucht. Aus dem Resultat dieser Untersuchung geht aber das Gesetz hervor, daß die Fallräume der einzelnen Sekunden beim freien Falle sich verhalten, wie die ungeraden Zahlen: 1, 3, 5 u. s. w. Der Raum, den ein Körper in der ersten Sekunde einmal durchfällt, wird in der zweiten Sekunde dreimal, in der dritten fünfmal u. s. w. durchfallen.

Es bleibt demnach zur Bestimmung des Fallraums am Ende einer jeden Sekunde nur noch übrig, daß man angebe, wie groß er am Ende der ersten Sekunde sey. Aus Versuchen und Rechnungen, die Galilei, der Entdecker des Gesetzes des freien Falles, angestellt hat, und die von seinen Schülern, Riccioli und Grimaldi, mit halbpfündigen Kugeln aus Kreide wiederholt worden sind, sowie nach den genauen Versuchen von Dechalles, hat sich ergeben, daß in Gegenden, die weder den Polen, noch dem Aequator zu nahe liegen, und nicht zu hoch über der Meeresfläche sind, ein frei fallender Körper am Ende der ersten Sekunde beiläufig 15 (15,098) Pariser Fuß (oder 4,9044 Meter, oder $15^5/_9$ rheinländische Fuß) zurückgelegt habe. Huyghens hat dieses noch genauer durch Ver-



Digitized by Google

delschwingungen dargethan, und neuere Versuche, die Guglielmini und Benzenberg angestellt haben, sind ebenfalls damit übereinstimmend ausgefallen.

Der freie Fall eines Körpers in jeder einzelnen Sekunde ist demnach

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| In der | 1. | Sekunde | 1 × 15 = | 15 | Par. Fuß. |
| " " | 2. | " | 3 × 15 = | 45 | " " |
| " " | 3. | " | 5 × 15 = | 75 | " " |
| " " | 4. | " | 7 × 15 = | 105 | " " |
| " " | 5. | " | 9 × 15 = | 135 | " " |
| " " | 6. | " | 11 × 15 = | 165 | " " |
| " " | 7. | " | 13 × 15 = | 195 | " " |
| " " | 8. | " | 15 × 15 = | 225 | " " |
| " " | 9. | " | 17 × 15 = | 255 | " " |
| " " | 10. | " | 19 × 15 = | 285 | " " |

In allen zehn Sekunden zusammen 1500 Par. Fuß. In jeder einzelnen Sekunde aber um 30 Par. Fuß mehr als in der, die ihr zunächst vorangeht.

Aus dem eben gefundenen Gesetz der Fallräume am Ende einer jeden Sekunde für sich allein läßt sich aber ferner noch ein zweites Gesetz ableiten, wodurch man im Stande ist, den ganzen Fallraum am Ende einer jeden beliebigen Anzahl von Sekunden auf einmal zu bestimmen, ohne erst die Fallräume von einer jeden Sekunde einzeln an einander reihen und addiren zu müssen. Dieß ergibt sich aus folgender Vergleichung:

Am Ende der ersten Sekunde fällt der Körper durch den Raum 1, und am Ende der zweiten Sekunde durch 3, also in beiden Sekunden zusammen durch vier Räume, wo demnach die Fallräume das Quadrat der Sekunden sind, $4 = 2 \times 2$; am Ende der dritten Sekunde durch 5, also in den 3 Sekunden zusammen durch 9 Räume, welches wieder das Quadrat der Sekunden ist, $9 = 3 \times 3$. Zur leichtern Uebersicht dieser Vergleichung dient folgende Tabelle:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Am Ende der | 2. | Sek. | zusammen | 4 | Räume | = | 2 × | 2 |
| " " " | 3. | " | " | 9 | " | = | 3 × | 3 |
| " " " | 4. | " | " | 16 | " | = | 4 × | 4 |
| " " " | 5 | " | " | 25 | " | = | 5 × | 5 |
| " " " | 6. | " | " | 36 | " | = | 6 × | 6 |
| " " " | 7. | " | " | 49 | " | = | 7 × | 7 |
| " " " | 8. | " | " | 64 | " | = | 8 × | 8 |
| " " " | 9. | " | " | 81 | " | = | 9 × | 9 |
| " " " | 10. | " | " | 100 | " | = | 10 × | 10 |

Hieraus folgt, daß der ganze Fallraum, den ein Körper am Ende einer jeden beliebigen Anzahl von Sekunden zurückgelegt hat, herauskommen muß, wenn man die Sekundendauer seines Falles auf das Quadrat erhebt. Für Gegenden, die nicht zu hoch über der Meeresfläche liegen, und den Polen und dem Aequator nicht zu nahe sind, wird dieses Quadrat mit 15 multiplicirt, um den ganzen Fallraum in Pariser Fuß zu finden.

In Worten pflegt man dieses Gesetz so auszudrücken: Die ganzen Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

§ 48. (Fallgeschwindigkeit.) Mit den Fallräumen muß nothwendigerweise auch die Geschwindigkeit im freien Falle von Sekunde zu Sekunde, ja mit jedem Moment, immer größer werden. Weiß man nun, daß der ganze Fallraum eines Körpers am Ende der 8. Sekunde 960 Par. Fuß beträgt,

Digitized by Google

und wollte hieraus seine Geschwindigkeit zu 120 Fuß für eine Sekunde annehmen (§ 32), so würde man abermals falsch gerechnet haben, weil diese Rechnung nur auf eine gleichförmige Bewegung paßt. Um nun die Geschwindigkeit zu bestimmen, die ein Körper in der gleichförmig beschleunigten Bewegung des freien Falles von Sekunde zu Sekunde erlangt, darf man nur bedenken, daß der Fallraum am Ende einer jeden Sekunde um 30 Pariser Fuß zunimmt, daß mithin die Geschwindigkeit auch allemal so vielmal 30 ist, als die Fallzeit in Sekunden beträgt. Am Ende der 8. Sekunde ist sie also $8 \times 30 = 240$ Pariser Fuß, daher noch einmal so groß, als sie bei einer bloß gleichförmigen Bewegung seyn würde.

Einige Beispiele über die Gesetze des freien Falles.

1) Ein Stein ist von einem Thurme in 4 Sekunden herabgefallen. Wie hoch ist der Thurm, wie viel Fuß ist der Stein in der vierten Sekunde allein gefallen, und wie groß war am Ende des Falles seine Geschwindigkeit?

Antw. Die Höhe des Thurmes muß seyn, den geringen Widerstand der Luft bei Seite gesetzt, $16 \times 15$ Par. Fuß $= 240$ Par. Fuß. In der 4. Sekunde allein ist der Stein durch $7 \times 15 = 105$ Par. Fuß gefallen; seine Endgeschwindigkeit war 120 Pariser Fuß.

2) Ein Stein, den man in einen Brunnen fallen ließ, erreichte nach 5 Sekunden das Wasser. Wie tief ist dieser Brunnen, wie viel Fuß fiel er in der 5. Sekunde allein, und mit welcher Endgeschwindigkeit?

Antw. Die Tiefe des Brunnens muß seyn, den geringen Widerstand der Luft bei Seite gesetzt, $25 \times 15 = 375$ Par. Fuß $= 62\frac{1}{2}$ Klafter, 6 Fuß auf eine Klafter gerechnet.

In der 5. Sekunde allein ist der Stein durch $9 \times 15 = 135$ Fuß gefallen mit einer Endgeschwindigkeit von $5 \times 30 = 150$ Pariser Fuß.

Das Gesetz, daß die ganzen Fallräume sich verhalten wie die Quadrate der Zeiten, kann nun auch benutzt werden, wenn die Frage eine andere Wendung bekommt und man zu wissen verlangt, wie viel Zeit ein Körper braucht, um von einer gewissen bekannten Höhe herabzufallen, und wie groß die Endgeschwindigkeit ist, die er dabei erlangt. Alsdann darf man nur die Höhe durch 15 dividiren und aus dem Quotienten die Quadratwurzel ziehen, und die Endgeschwindigkeit wie vorstehend berechnen.

Beispiele.

1) Ein Thurm ist 465 Par. Fuß hoch; wie lange müßte ein Stein oder sonst ein Körper, auf dessen Fall der Widerstand der Luft nur geringen Einfluß hat, fortfallen bis er die Erde erreichte?

Antw. $\sqrt{(^{465}/_{15})} = 5{,}56$ Sekunden, mit einer Endgeschwindigkeit von nahe 167 Fuß.

2) Ein Stein fiel 1070 Fuß tief; wie viel Zeit brauchte er dazu?

Antw. $\sqrt{(^{1070}/_{15})} = 8\frac{7}{15}$ Sekunden.

Da die Körper im Fallen an Geschwindigkeit, mithin auch an Gewalt, zunehmen, so ist es leicht zu ermessen, daß ein fallender Körper eine desto größere Gewalt auf einen andern ausübt, den er trifft, je größer die Höhe ist, von der er hinabstürzt. Beim Spalten der Klötze, wo man so tief wie möglich ausholt, um den Schlag möglichst hoch herabfallen zu lassen, bei Rammklötzen, Stampfmaschinen und in Pochwerken benutzt man diese Gewalt als Mittel zu dem beabsichtigten Zwecke. Wegen dieser Gewalt ist aber auch der Fall von einer bedeutenden Höhe mit so großer Gefahr



Digitized by Google

verbunden, wenn man auf einen harten Boden trifft. Ist z. B. ein Rammklotz (Rammbär) 5 Fuß hoch gezogen worden, so ist seine Endgeschwindigkeit, d. h. die Geschwindigkeit in dem Augenblick, wo er den einzurammenden Pfahl (Pilotis) trifft $= 30\sqrt{5/15} = 17{,}4$ Fuß, und ist er dabei 8 Centner schwer, so wirkt er auf den Pfahl mit einem Drucke $= 8 \times 17{,}4 = 139{,}2$ Ctr. (§ 34. 4.)

Fiele der Regen, der Schnee, der Hagel und die Schloßen auf die Erde nieder, ohne erst durch die Luft zu gehen, so würden sie, wenn auch die Höhe, wo sie sich bilden, nur erst 3000 Fuß und selbst noch darunter betrage, mehr oder weniger furchtbare Verheerungen anrichten. Weil sie aber im Fallen die Luft fortschieben müssen, so geht ein großer Theil ihrer Gewalt dadurch verloren. Die Schneeflocken haben schon genug zu zu thun, sich durch die Luft hindurch zu drängen, und fallen daher ganz sanft auf. Stärker ist schon die Gewalt der Regentropfen, besonders der großen, wie beim Platzregen, daher diese schon härter auffallen.

Wie hart Wassertropfen auffallen, wenn sich die Luft ihnen nicht widersetzt, kann man einigermaßen schon durch den Wasserhammer inne werden. Es besteht dieser aus einer gläsernen Röhre, die man etwa bis zur Hälfte mit Wasser füllt, dann so lange erhitzt, bis das Wasser aus dem offenen Ende überbrauf't. Indem nun das Wasser in der Röhre durch die Erhitzung immer höher aufsteigt, treibt es, vermöge der Undurchdringlichkeit, die Luft vor sich weg und zur Röhre hinaus, und macht sie ziemlich luftleer, wenn es sich ganz durch die Röhre ausgedehnt hat. Schnell wird dann das offene Ende der Röhre zugeschmolzen, das Wasser zieht sich nach und nach wieder zusammen, und der Wasserhammer ist fertig. Schüttelt man die Röhre, so fährt das Wasser so hart gegen die Wände, als ob Steine darin wären, daher der Name Wasserhammer.

Schloßen, die ihrer größern Masse wegen die Luft weit leichter überwältigen, richten eben darum große Zerstörungen an, und können so gewaltsam wirken, daß sie Menschen und Thiere tödten, namentlich wenn die Körner groß, und nahe 1 Pfund, selbst noch mehr wiegen, wie dieses in vielen Gegenden schon oft genug vorkam. Beträgt die Höhe, aus der sie herabfallen, auch nur 3000 Pariser Fuß, so brauchen sie zu ihrem Fall, wenn man den Widerstand der Luft bei Seite setzt, etwa 14 Sekunden, wobei sie die große Endgeschwindigkeit von 420 Fuß erlangen. Haben sie dabei ein Gewicht von $1/2$ Pfund, so üben sie in dem Augenblick, wo sie den Gegenstand erreichen, auf den sie treffen, einen Druck von 210 ℔ aus.

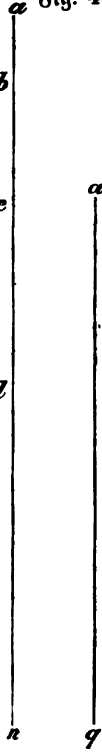
§ 49. (Allgemeine Bestimmung der Fallräume.) Das Gesetz über das Verhältniß der Fallräume läßt sich auf allgemeine Weise mathematisch auseinandersetzen, sowohl arithmetisch, durch Rechnung, als geometrisch, durch Construktion.

### I. Arithmetisch.

Ein Körper falle in einer Zeit z durch ein Raum an (Fig. 45). Dieser Raum soll s heißen. Die Zeit z kann man sich in eine unzählige Menge Augenblicke getheilt denken, und sich vorstellen, daß der Körper im ersten Augenblicke durch den Raum ab gehe. Da die Schwerkraft in jedem Augenblicke ihre Wirkung auf den Körper erneuert, so wird auch seine Bewegung, so lange die Schwerkraft mitwirkt, sich immer fort beschleunigen. Der Körper wird demnach im zweiten Augenblicke durch einen Raum bc fallen, der größer ist als ab, im dritten Augenblick durch einen Raum cd, der wiederum größer ist als bc, und so werden die Fallräume vom ersten bis zum letzten Augenblicke auf eine stetige Weise zunehmen.

Digitized by Google

Fig. 45.




Um zu einem Ausdruck zu gelangen, aus dem sich die Räume übersehen lassen, die er in jedem Augenblick zurücklegt, nehme man an, die Zeit z sey in m Augenblicke getheilt, und im ersten Augenblicke gehe der Körper durch den Raum ab. Ein Augenblick ist schon ein so kleiner Zeittheil, daß man sich die Bewegung, die der Körper in ihm macht, wohl als völlig gleichförmig vorstellen kann, und nur anzunehmen braucht, daß die neue Einwirkung der Schwerkraft bloß im Anfang des Augenblicks die Bewegung des Körpers beschleunige. Ist nun ab = a, so wird der Annahme gemäß: bc = 2a; cd = 3a seyn, und so wird in jedem Augenblick der Raum um a zunehmen. In dem letzten oder mten Augenblick wird er ma seyn. Diese Zahlen, welche die Fallhöhen von einem Augenblick zum andern bezeichnen, bilden nun, für die m Augenblicke der Zeit z, eine arithmetische Reihe von m Gliedern, nämlich:

$$a \quad 2a \quad 3a \quad 4a \quad \ldots\ldots \quad ma$$

Die Summe dieser Reihe ist demnach:

$$s = (a + ma)\frac{m}{2} = a\,(1 + m)\frac{m}{2}$$

In der That ist aber für die Wirkung der Schwerkraft, die unabläßig thätig ist, ein Augenblick ein noch zu großer Zeittheil, um annehmen zu können, daß sie die Bewegung des Körpers nur von Augenblick zu Augenblick beschleunige. Die Annahme, daß die Schwerkraft nur im Anfang einer Zeit die Bewegung eines fallenden Körpers beschleunige, kann daher nur dann im strengsten Sinne richtig sein, wenn man die Zeittheilchen für z so unendlich klein annimmt, daß sie gar nicht mehr bestimmbar sind, gar nicht mehr angegeben werden können. Alsdann wird m eine so unendlich große Zahl werden, daß eins auf oder ab völlig unbeachtet bleiben kann, und $1 + m$ von m völlig so gut wie gar nicht verschieden ist. Daher man denn auch m anstatt $1 + m$ setzen kann. Diesem nach wird die Summe obiger Reihe für die ganze Fallhöhe:

$$s = am\frac{m}{2} = \frac{am^2}{2} \text{ werden.}$$

Was von dem einen Körper in Beziehung auf seine Fallhöhe gilt, muß natürlich auch von jedem andern Körper in Beziehung auf die ihm zugehörige Fallhöhe gelten.

Nimmt man nun an, ein anderer Körper falle in einer Zeit u durch einen Raum aq, der r heißen soll, und denkt sich die Zeit u in n unendlich kleine Zeittheilchen getheilt, so wird nun, a für den Fallraum des ersten Zeittheilchens angenommen:

$$r = \frac{an^2}{2} \text{ seyn müssen.}$$

Vergleicht man nun die Fallhöhen dieser beiden Körper mit einander, so entsteht folgende Proportion:

$$s : r = \frac{am^2}{2} : \frac{an^2}{2}$$

$$\text{also } s : r = m^2 : n^2$$

Digitized by Google

Da nun m einerlei mit z und n einerlei mit u ist, so ist auch:

$$s : r = z^2 : u^2$$

das heißt: die Fallhöhen verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Denkt man sich unter z eine Sekunde, also unter s die Fallhöhe für eine Sekunde, so hat man:

$$s : r = 1 : u^2$$

$$\text{also } r = su^2$$

d. h. die ganze Fallhöhe eines Körpers für irgend eine Anzahl von Sekunden wird gefunden, wenn man die Sekundenzahl quadrirt und das Quadrat mit der Fallhöhe einer Sekunde multiplicirt.

Aus diesem Gesetz läßt sich ferner auch das andere, nach welchem die einzelnen Fallräume wachsen, auf folgende Weise ableiten. Da nämlich die Fallhöhe, die einer Zeit u zugehört, $su^2$ ist, so wird sie für eine Zeit $u + 1$ wohl $s(u + 1)^2$, für eine Zeit $u + 2$ wird sie $s(u + 2)^2$, für eine Zeit $u + 3$ wird sie $s(u + 3)^2$ u. s. f. seyn müssen. Tabellarisch geordnet, erhält man als Ueberblick:

Fallhöhe für die Zeit $u = su^2$

" " " " $u + 1 = su^2 + 2su + s$

" " " " $u + 2 = su^2 + 4su + 4s$

" " " " $u + 3 = su^2 + 6su + 9s$

" " " " $u + 4 = su^2 + 8su + 16s$

" " " " $u + 5 = su^2 + 10su + 25s$ u. s. w.

Fallhöhe für die Zeit $u + n = s(u + n)^2 = su^2 + 2sun + n^2s$.

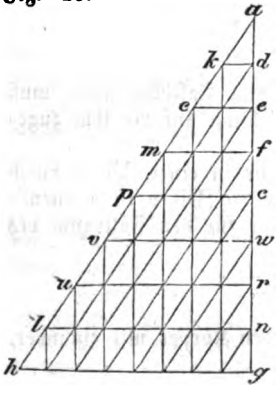
Nimmt man $u = 1$ Sekunde an, so erhält man:

| für die Zeit | | | | den Fallraum | |
|---|---|---|---|---|---|
| " | " | " | $u + 1$ | " | $4s$ |
| " | " | " | $u + 2$ | " | $9s$ |
| " | " | " | $u + 3$ | " | $16s$ |

Zieht man den vorhergehenden Fallraum jedesmal von dem ab, der zunächst nach ihm folgt, so bleibt $3s$, $5s$, $7s$ u. s. f. allemal ein Vielfaches von s, nach der Ordnung der ungeraden Zahlen, übrig. Nach dieser Ordnung wachsen demnach die einzelnen Fallräume.

## II. Geometrisch.

Fig. 46.




Denkt man sich in der Linie ag (Fig. 46) unter den einzelnen gleich großen Stücken ad, de, ef u. s. w. die einzelnen Zeittheilchen; und unter den Linien, die auf d, e, f u. s. w. senkrecht stehen, nämlich dk, ec, fm, die Geschwindigkeiten, die der fallende Körper am Ende eines jeden Zeittheilchens erlangt hat, und werden diese Zeittheilchen unendlich klein angenommen, so fallen alle diese Linien unendlich nahe zusammen. Die Fallräume verhalten sich alsdann wie die Flächen der Dreiecke, die zu den verschiedenen Fallzeiten gehören. Nun verhält sich aber:

$$\text{Tr. adk} : \text{Tr. ahg} = ad^2 : ag^2.$$

Demnach verhalten sich die Räume wie die Quadrate der Zeiten.

Zieht man durch die Punkte d, e, f u. s. f. Linien, die mit der Hypothenuse ah, und durch k, c, m u. s. f. Linien, die mit der Kathete ag

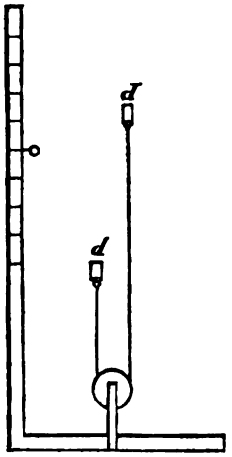
Digitized by Google

parallel laufen, so sieht man an der Zeichnung, wie die einzelnen Fallräume nach der Ordnung der ungeraden Zahlen wachsen, wenn man die Dreiecke zählt, von denen jedes dem Dreieck akd gleich seyn muß, und deren Menge für jeden einzelnen Fallraum die Zeichnung angibt.

§ 50. (Atwood's Fallmaschine.) Diese Maschine, die den Namen ihres Erfinders trägt, ist ein Apparat, durch welchen man auf eine sinnreiche Weise die Verhältnisse der Fallräume, beim freien Fall der Körper, mittelst Versuche darthun kann. Der Zweck des Apparats ist, die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers zu vermindern, um sie besser beobachten zu können, jedoch so, daß die Gesetze der Beschleunigung dadurch keine Veränderung erleiden, zugleich aber auch den Widerstand der Luft, der bedeutend zunimmt, je größer die Geschwindigkeit des fallenden Körpers wird, so unbedeutend zu machen, daß er ganz außer Acht gelassen werden kann.

Der etwas zusammengesetzte Apparat läßt sich, um eine Vorstellung von ihm zu bekommen, in einer einfachen Zeichnung (Fig. 47) darstellen. Ein sehr dünner biegsamer Faden geht um eine möglichst leicht bewegliche Rolle, und trägt am Ende ein gleich großes Gewichtchen P und p. Mit dem Faden gleichlaufend ist eine in gleiche Theile getheilte Skale angebracht, die so eingerichtet ist, daß man an jeder beliebigen Stelle derselben Ringe, durch welche die Gewichtchen leicht hindurch gehen, horizontal befestigen kann. Da ein Gewichtchen das andere trägt, der Faden äußerst dünn und die Rolle fast ohne alle Reibung um ihre Achse sich dreht, so halten sich beide Gewichtchen das Gleichgewicht, sie mögen gleich hoch, oder eins höher als das andere stehen. Wird aber eines dieser Gewichtchen in verticaler Richtung bewegt, so bewegt sich auch das andere, jedoch nach entgegengesetzter Richtung; sinkt p, so steigt P, und umgekehrt. Diese Bewegung ist gleichförmig. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man die Dauer der Bewegung an den Schwingungen eines Pendels zählt, und die Stellen der Skale bemerkt, die ein jedes Gewichtchen indessen zurückgelegt hat. Man beschwere nun eines der beiden Gewichtchen mit einem andern Gewichtchen, das etwa den fünfhundertsten Theil von ihm beträgt. Wäre das kleine Gewichtchen, das man zur Beschwerung genommen hat, ohne Unterlage, so würde es, den Gesetzen der Schwerkraft folgend, mit beschleunigter Bewegung zu Boden fallen. Jetzt aber, wo es auf einem andern liegt, theilt es sein Bestreben, zu fallen, den beiden andern an der Rolle mit, daher auch jene in Bewegung kommen. Wäre das Gewicht der beiden größern zusammen 99 Gran, und das des hinzugefügten ein Gran, so wird sich die Wirkung dieses einen Grans auf alle drei Massen, die mit einander verbunden sind, gleichmäßig vertheilen, folglich das eine Gran sich hundertmal langsamer bewegen, indem es an Bewegungskraft so viel verliert, als die Vertheilung in die drei Massen beträgt. Hierdurch ist es möglich, die Gesetze über das Verhältniß der Fallräume schon für geringe Höhen wahrzunehmen, und bei diesen kann der Widerstand der Luft als völlig beseitigt betrachtet werden.

Fig. 47.




Digitized by Google

Bringt man nun das Gewichtchen p an den Nullpunkt der Skale, beschwert es mit einem andern sehr kleinen Gewichtchen und läßt es fallen, indem man zugleich die Schwingungen eines Pendels zählt, so kann man wahrnehmen, daß es, wenn es beim ersten Pendelschlage bis 1 kam, beim zweiten bis 4, beim dritten bis 9 u. s. f. gefallen seyn wird, daß mithin die Räume wie die Quadrate der Zeiten, und die einzelnen Räume wie die ungeraden Zahlen wachsen.

Die Gewichtchen, die man zur Beschwerung braucht, sind theils rund, theils länglich, und so eingerichtet, daß sie nicht durch den Ring, durch welchen die Gewichtchen P und p gehen, mit hindurch gehen können. Dieses dient dazu, die Versuche auf allerlei Weise abändern zu können, und durch sie auch nachzuweisen, mit welcher Geschwindigkeit ein Körper fällt, wenn er bloß der Trägheit folgt, und sein Fall nicht beschleunigt wird. Wer Gelegenheit hat, diesen schönen Apparat in Wirksamkeit zu sehen, dem werden bald die Resultate dieser Versuche einleuchten.

§ 51. (Freier Fall zum Mittelpunkt der Erde.) Fände ein frei fallender Körper nirgends eine Unterlage, so müßte er bis zum Mittelpunkte der Erde fallen, und diesen, nach den Gesetzen des freien Falls, in 1144 Sekunden, mit einer Endgeschwindigkeit von 31320 Pariser Fuß erreichen, den Halbmesser der Erde zu 19631114 Pariser Fuß angenommen. Dort angelangt, könnte die Schwerkraft nicht weiter auf ihn wirken, da sie, nach der Vorstellung, die wir uns von dieser Kraft machen, nothwendig im Mittelpunkt der Erde Null seyn muß. Vom Mittelpunkt aus müßte dann der Körper, fände er hier keine Unterlage, nach der jenseitigen Oberfläche hin, vermöge der Trägheit, wieder zu steigen anfangen, so lange, bis seine erlangte Endgeschwindigkeit, durch die Gegenwirkung der Schwerkraft, Null geworden ist, darauf wieder zurückkommen, und diese Schwingungen so lange fortsetzen, bis sie endlich im Mittelpunkt der Erde aufhören, und der Körper ruhen würde. Dieß ist jedoch nur eine bloße Theorie, für welche eigentlich schon die berechnete Fallzeit und Geschwindigkeit nicht mehr streng richtig sind, da es leicht zu erachten ist, daß beide mit der Annäherung zum Mittelpunkte Aenderungen erleiden müssen. Auch ist es nicht möglich, hierüber Beobachtungen und Versuche anzustellen, um auf dem Weg der Erfahrung Ueberzeugung von dieser Erscheinung zu erlangen, da das Innere der Erde völlig unzugänglich und ganz unbekannt ist, und selbst der tiefste Schacht ist gegen den 860 Meilen langen Halbmesser der Erde nur noch eine fast verschwindende Tiefe. In solchen geringen Tiefen leiden aber die Gesetze des freien Falles keine meßbaren Abänderungen.

§ 52. (Gleiche Schwere aller Körper.) Bei dem freien Falle muß jedes kleinste Theilchen eines Körpers mit derselben Geschwindigkeit fallen, mit der eine noch so große Masse fällt. Viele Zentner einer Materie, die zugleich neben einem noch so kleinen Theilchen derselben auf die Erde fallen, müssen auch mit diesem zugleich dort anlangen, wenn sie im Anfange des Falles gleich weit von ihr entfernt sind. In Worten pflegt man dieses Gesetz so auszudrücken: alle Körper von einerlei Materie sind gleich schwer, ihre Masse mag groß oder klein seyn. Sonderbar, sagt hier vielleicht mancher Leser, dem dieses Gesetz noch nicht einleuchtet; kann denn ein Quentchen Blei so schnell fallen, als ein oder mehrere Zentner von dieser Materie? Fällt aber ein Pfund, das doch 128 Quentchen hat, auch 128mal schneller als das Quentchen? Das doch wohl auch nicht. In der That, es ist so schwer nicht, von der Richtigkeit des angeführten Gesetzes sich zu

Digitized by Google

überzeugen, erwägt man, daß die Schwerkraft auf jedes Element der Masse besonders wirkt. Wo Millionen von Elementen mit einander verbunden sind, verbreitet sich ihre Wirkung über eine Million einzelner Elemente wohl eben so, als wenn diese Million Elemente außer Verbindung neben einander fielen; ihre Verbindung kann unmöglich etwas zur Vergrößerung der Schwerkraft beitragen, mithin auch die Wirkung derselben, was doch eben der Fall ist, nicht im mindesten vergrößern. Daß wir aber ein Pfund einer Materie schneller als ein Quentchen derselben fallen sehen, ist kein Widerspruch, sondern nur eine Modification dieses Gesetzes, die dadurch entsteht, daß die Körper nicht frei fallen, sondern durch andere Körper sich hindurch drängen müssen, z. B. durch die Luft, wobei denn allerdings ein Pfund mehr Gewalt als ein Quentchen hat.

Ob aber überhaupt alle Körper gleich schwer sind, auch dann, wenn die Materie, woraus sie bestehen, verschieden ist, oder ob durch die Schwerkraft eine Materie wirklich stärker als eine andere sollicitirt werde, dieses ist eine andere Frage, und denken läßt es sich wohl, daß die Erde eine Materie stärker als eine andere anziehe. So weit indessen unsere Versuche reichen, hat auch die Materie keinen Einfluß auf die Wirkung der Schwerkraft. In Röhren, die man so viel als möglich luftleer gemacht hatte, fielen Körper der verschiedenartigsten Materien, Gold, Silber, Glas, Holz, Kochsalz, Federn, Wolle, mit gleicher Geschwindigkeit zu Boden. Nach diesen zu urtheilen, muß man freilich annehmen, daß überhaupt alle Körper gleich schwer seyen, und daß beim freien Falle eine ganze Bergmasse nicht schneller fällt, als ein Stückchen Korkholz.

§ 53. (Schwere und Gewicht.) Noch ist einem andern Einwand zu begegnen, der sich jedem aufmerksamen Leser gleichsam von selbst darbietet. Wenn, wird er sagen, Vernunft und Erfahrung das Gesetz darthun, daß alle Körper gleich schwer sind, ihre Masse mag seyn, welche sie wolle, müßte denn da nicht auch der Unterschied ihrer Gewichte verschwinden, und Zentner, Pfund, Quentchen und jedes andere Gewicht uns etwas ganz Unbekanntes seyn? Allein diese Frage beruht bloß auf einer falschen Auslegung des an sich richtigen Gesetzes. Das Gewicht eines Körpers hängt von dem Druck ab, den er auf seine Unterlage ausübt. Je größer dieser ist, je größer muß auch sein Gewicht seyn. Nothwendig muß aber dieser Druck zunehmen, je mehr sich Elemente in einem Körper beisammen finden, daher ein Körper, der tausendmal mehr Elemente als ein anderer derselben Materie enthält, auch tausendmal mehr Gewicht haben muß. Eben hierin liegt denn auch der wesentliche Unterschied zwischen Schwere und Gewicht. Jene bezeichnet bloß das Bestreben der Körper, dem Mittelpunkt der Erde sich zu nähern, dieses aber gibt den verhältnißmäßigen Druck an, den alle materielle Theile, die in einem Körper vereinigt sind, auf ihre Unterlage ausüben. Der gemeine Sprachgebrauch verwechselt zwar beide Ausdrücke oft mit einander, indem man z. B. sagt, ein Zentner ist schwerer als ein Pfund, allein dieser Ausdruck bedeutet eigentlich nur, ein Zentner wiegt mehr als ein Pfund, in welcher Bedeutung auch völlig richtig, wenn schon nicht streng wissenschaftlich gesprochen wird.

§ 54. (Abnahme der Schwere.) Obgleich die Schwerkraft ihre Wirksamkeit über die ganze Oberfläche der Erde verbreitet, so kann sie doch nicht auf allen Punkten derselben eine gleich starke Wirkung ausüben; sie muß demnach Aequator zu schwächer, nach den Polen hin stärker seyn. Dieses Gesetz hat einen doppelten Grund. Der erste liegt in dem Umschwung der

Digitized by Google

Erde um ihre Achse. Dieser Umschwung, der den Körpern ein Bestreben ertheilt, sich von der Erde wegzuschwingen, ist überhaupt der Schwerkraft, wodurch sie mit der Erde in Verbindung bleiben, entgegenwirkend, und vermindert ihre Wirkung. Je schneller ein Ort bei diesem Umschwung sich bewegt, desto mehr muß dadurch die Wirkung der Schwerkraft sich vermindern. Da nun der Aequator der größte Umfang der Erde ist, zu seinem Umschwung um die Achse aber nicht mehr Zeit braucht als jeder Parallelkreis (24 Stunden), so müssen alle Oerter, die unter ihm liegen, schneller schwingen, als die, die unter einer andern Polhöhe liegen. Die Schwerkraft findet also unterm Aequator eine größere Gegenwirkung, als unter den Polen, und muß daher geringere Wirkung haben, je weiter man sich von diesen entfernt, je näher man dem Aequator kommt.

Der andere Grund liegt in der Gestalt der Erde, die keine vollkommne Kugel, sondern an ihren Polen abgeplattet ist. Durch diese Abplattung sind die Pole dem Mittelpunkt der Erde näher als der Aequator, was ebenfalls eine vermehrte Wirkung hervorbringen muß, und auch wirklich hervorbringt, wie man aus den Schwingungen der Pendel, wovon später die Rede seyn wird, deutlich wahrnehmen kann.

Mit der Abnahme der Schwerkraft muß nothwendig auch eine Abnahme des Druckes verbunden seyn, den ein Körper auf seine Unterlage ausübt. Das Gewicht eines Körpers muß daher unter dem Aequator allerdings geringer seyn, als nach den Polen zu. Indessen wäre dieser Unterschied, obschon ein doppelter Verminderungsgrund vorhanden ist, für unsere Sinne doch nur dann erst in etwas wahrnehmbar, wenn er auf sehr große Massen, auf Massen von mehreren hundert Zentnern bezogen wird. Für kleinere Massen könnte ein Gewichtsunterschied gar nicht mehr wahrgenommen werden. Bedenkt man aber, daß das Gewicht, womit man den Körper wägt, unter dem Aequator in demselben Verhältniß wie der Körper selbst sich vermindern muß, so sieht man leicht ein, daß man diese Abnahme durch das unmittelbare Abwägen, auch noch so großer Massen, gar nicht wahrnehmen kann, und ein ganz anderes Verfahren erforderlich seyn wird, um sich von dieser Abnahme durch Versuche zu überzeugen.

Ob der Umlauf der Erde um die Sonne ebenfalls eine Verminderung der Schwerkraft zur Folge habe, ist bis jetzt noch ganz unausgemacht, daher sich auch nicht angeben läßt, ob diese Verminderung, wenn sie stattfindet, für einen Ort der Erde mehr als für einen andern betrage.

Je weiter ein Körper von der Oberfläche der Erde weg sich befindet, je weiter ist er auch von dem Mittelpunkt der Erde entfernt, und desto geringer ist auch hier wieder die Wirkung, mit der er von der Schwerkraft sollicitirt wird. Auf Bergen muß daher die Schwerkraft geringer, als auf der Oberfläche der Ebenen seyn. Indem nun die Schwerkraft im Mittelpunkt der Erde ganz aufhört, so muß sie auf der Oberfläche der Ebenen auch stärker seyn, als an einem Orte, der in einer bedeutenden Tiefe liegt, eben darum, weil dem Mittelpunkt zu sie nach und nach abnimmt.

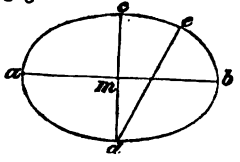
Auf der Oberfläche der Ebenen muß daher die Schwerkraft ihre größte Wirkung ausüben.

§ 55. (Irrige Vorstellungen.) Da jedes Bleiloth mit der Horizontalebene, auf die es trifft, rechte Winkel bildet, so müssen alle neben einander hängenden Lothe vollkommen parallel seyn. Streng genommen, ist

Digitized by Google

dieses nicht ganz richtig, weil sie ja alle im Mittelpunkt der Erde zusammentreffen müßten, wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre. Wegen der elliptisch-sphäroidischen Gestalt der Erde kann dieß aber nur unter dem Aequator ab (Fig. 48) und unter den Polen cd erfolgen, an allen andern Orten, z. B. von e aus, müßten sie, als Normallinien einer Ellipse, in die Ebene des Aequators einschneiden. Indessen kann man, wegen der großen Entfernung des Mittelpunkts m von der Oberfläche, und wegen der geringen Abweichung der Erde von der Kugelgestalt, die Richtung der Schwere allenthalben nach dem Mittelpunkt gehend annehmen, und mehrere neben einander hängende Lothe, die hundert Fuß und darüber von einander entfernt, und selbst über hundert Fuß lang sind, können ohne merklichen Fehler als vollkommen parallel betrachtet werden.

Fig. 48.




Irrig würde ebenfalls auch die Vorstellung seyn, wollte man den Mittelpunkt der Erde als den Ort ansehen, wo die Schwerkraft ihren geheimnißvollen Sitz aufgeschlagen habe, und von wo aus sie alle irdischen Körper gewaltsam zu sich hinreiße. Der Mittelpunkt ist keineswegs ausschließend im Besitz dieser Kraft, jedes Theilchen der Erde, sey es noch so klein, ziehet schon den Körper an, der senkrecht über ihm sich befindet. Der Mittelpunkt ist aber als der Punkt zu betrachten, in welchem sich die Wirkung der Anziehung aller einzelnen Theilchen vereinigt, und in diesem Sinne genommen, kann man allerdings den Mittelpunkt der Erde als den Ort ansehen, zu welchem alle Wirkungen der Schwerkraft sich erstrecken.

§ 56. (Gestalt der Erde.) Denkt man sich die Erde im Anfange ihrer Bildung in einem durchaus flüssigen Zustande, so läßt sich, aus dem gemeinschaftlichen Druck aller Theile nach dem Mittelpunkt der Erde, leicht abnehmen, daß diese kugelig werden mußte. Nachdem aber die Erdkugel gebildet war und nun anfing, um ihre Achse sich zu bewegen, mit Ausnahme der beiden Pole, welche sich nicht mit bewegen, mußten auch die Theile um den Aequator herum einen größern Umschwung erhalten. Hierdurch wurden diese etwas mehr erhoben, wogegen dann die Theile nach den Polen zu etwas mehr zusammengedrückt wurden, und so bekam die Erde die Gestalt einer nach den Polen hin abgeplatteten Kugel. Obgleich nun unterm Aequator eine größere Fliehkraft als nach den Polen zu stattfindet, so ist doch auch hier, nach astronomischer Berechnung, die Schwerkraft nur um den 289sten Theil geringer, als an den Polen, daher auch hier, so wenig als anderwärts, durch den Umschwung der Erde um ihre Achse irgend ein Körper von ihr wegstürzen kann. Da für jede Sekunde der freie Fall um etwa 30 Fuß zunimmt (§ 48), so beträgt die Fliehkraft am Aequator $30 \times {}^1/_{289} = 0{,}104$ Fuß, und um so viel wird daher dort die Schwerkraft verringert. Wäre aber die Geschwindigkeit, mit welcher die Erde um ihre Achse schwingt, größer, also der Tag kleiner, so würde auch die Fliehkraft sich vergrößern. Die Berechnung zeigt, daß am Aequator die Schwerkraft ganz aufhören müßte, wenn der Tag um etwa 17mal kürzer wäre, in welchem Falle dort kein Körper mehr gegen die Erde fallen könnte, und bei einer noch um etwas größern Tageskürze müßte dort jeder Körper von der Erde wegfliegen. Dasselbe würde aber auch der Fall seyn, wenn die Tageslänge zwar dieselbe bliebe, wie sie jetzt ist, aber dafür der Halbmesser der Erde um 289mal seine gegenwärtige Größe überstiege.

Digitized by Google

§ 57. (Bewegung des Mondes um die Erde.) Mit der Entfernung von der Oberfläche der Erde nimmt auch die Schwerkraft ab. Die Stärke der Abnahme steht mit dem Quadrat der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde im Verhältniß, so daß in einer noch einmal so großen Entfernung vom Mittelpunkt die Schwerkraft viermal, und in einer dreimal so großen Entfernung die Schwerkraft neunmal u. s. f. geringer wird, als sie in der einmaligen Entfernung vom Mittelpunkte ist. Nun ist der Gipfel des Chimborasso über 20,000 Pariser Fuß über der Meeresfläche, und daher um eben so viel weiter als die Ebene unterm Aequator vom Mittelpunkt der Erde entfernt. Nimmt man den Halbmesser der Erde in der Ebene in runder Zahl zu 19630000 Pariser Fuß an, so ist der Gipfel des Chimborasso 19650000 solcher Fuß vom Mittelpunkt der Erde entfernt. Das Verhältniß ihrer Entfernung vom Mittelpunkte ist demnach wie 1963 zu 1965, wofür man hier 1000 zu 1001 annehmen kann. Die Schwerkraft unterm Aequator verhält sich demnach zu der Schwerkraft auf dem Gipfel des Chimborasso umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde, also wie $1001^2 : 1000^2 = 1002001 : 1000000$, und in kleinern Zahlen wie 1002 : 1000, und ist also auf dem Gipfel des Berges nur um $^2/_{1000}$ oder $^1/_{500}$ geringer als auf der Ebene.

So wenig dieser kleine Unterschied in Betrachtung kommt, wenn von der Wirkung der Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde die Rede ist, so würde er schon sehr bedeutend ausfallen, wenn die Höhe über der Oberfläche beträchtlich zunimmt. Mißt man die Entfernungen vom Mittelpunkte der Erde nach Erdhalbmessern, von denen der einfache (beiläufig 860 Meilen lang) vom Mittelpunkte bis zur Erdoberfläche geht, so müßte, wenn diese Entfernung um die Hälfte größer wird, die Schwerkraft daselbst schon um mehr als noch einmal so gering ausfallen, als sie auf der Oberfläche ist, nämlich wie $1^2 : (1^1/_2)^2 = 1 : 2^1/_4$. In einer Entfernung von zwei Erdhalbmessern wäre sie schon viermal geringer, und ein Körper, der so hoch über der Erde zu fallen beginne, würde in der ersten Sekunde nur $^{15}/_4 = 3^1/_4$ Fuß tief fallen. In einer Entfernung von vier Erdhalbmessern würde die Schwerkraft sechszehnmal geringer seyn, und der Fall eines Körpers von dort aus in der ersten Sekunde nur $^{15}/_{16}$ Fuß betragen. Da nun der Mond um 60 Erdhalbmesser von der Erde entfernt ist, so wird er von dieser mit einer Kraft angezogen, die um $60^2 = 3600$mal geringer ist, als für die Körper auf ihrer Oberfläche, und was hier 3600 ℔ wiegt, könnte auf dem Monde nur erst einen Druck von einem Pfund gegen die Erde ausüben. Körper, die von dort aus nach der Erde fielen, würden zurücklegen:

Am Ende der 1. Sekunde $^{15}/_{3600}$ Fuß $= 1 \times {}^1/_{240}$
" " " 2. " . . . . . $4 \times {}^1/_{240}$
" " " 3. " . . . . . $9 \times {}^1/_{240}$

u. s. w. Am Ende der 3600sten Sekunde, oder in einer Stunde würden sie also $3600^2 \times {}^1/_{240} = 54000$ Fuß zurücklegen. Sechzig Erdhalbmesser betragen $60 \times 860 = 51600$ Meilen; rechnet man eine Meile zu 22843 Pariser Fuß, so beträgt die Entfernung des Mondes von der Erde 1178698800 Fuß. Dividirt man diese Zahl durch 54000 (den Fallraum einer Stunde), so erhält man 21827, und diese Zahl ist dann das Quadrat der Fallzeit. Aus dieser die Quadratwurzel gezogen, gibt 148 Stunden, oder etwas über 6 Tage, die ein Körper brauchte, um beim freien Falle vom Monde auf die Erde zu gelangen. In dieser Zeit würde daher

Digitized by Google

auch der Mond selbst auf die Erde hinstürzen, wenn er bloß der Centripetalkraft allein folgen könnte. Wir haben es der Centrifugalkraft zu verdanken, daß wir von diesem Besuch verschont bleiben, und beide Kräfte bewirken, daß er um die Erde, als den Mittelpunkt dieser Kräfte, sich herumbewegt. Nach astronomischen Berechnungen legt der Mond in seiner Bahn um die Erde 3140 Fuß in einer Sekunde zurück, also 11304000 Fuß in einer Stunde. Da nun diesen Berechnungen gemäß die ganze Bahn 7404031400 Fuß ist, so legt er sie in 655 Stunden oder 27 Tagen und 7 Stunden zurück.

§ 58. (Allgemeine Schwere.) Noch viel höheres Interesse als die Lehre von der irdischen Schwere gewähren die Betrachtungen, die sich über die allgemeine Schwere, über die wechselseitige Anziehung ganzer Weltkörper, ungeachtet ihrer ungeheuern Abstände von einander, anstellen lassen. Hier offenbart sich die Macht des menschlichen Verstandes und die Göttlichkeit seiner Vernunft in ihrem höchsten Glanze, indem sie die Gesetze enthüllen, nach welchen der mystische Tanz der Sphären vor sich geht und der Mensch begreifen lernt, wodurch die Planeten um die Sonne, die Nebenplaneten um ihre Hauptplaneten in unverrückter Ordnung und nie gestörter Harmonie sich lenken. Wie weit auch die Weltkörper, die mit der Erde von derselben Sonne ihr Licht empfangen, seinem körperlichen Auge entrückt sind, sein Geist leitet ihn zu ihnen hin, und mit bewundernswürdigem Scharfsinn lehrt er ihn die Regeln finden, nach welchen er das Verhältniß ihrer Massen und Dichtigkeiten bestimmen und angeben kann, mit welcher Gewalt jeder von ihnen die Körper anzieht, die auf ihm sich befinden mögen. Obgleich nun diese Untersuchungen, mit noch so vielen andern, die damit zusammenhängen, ihrer großen Reichhaltigkeit wegen, der Physik entzogen, und der Astronomie vorbehalten bleiben müssen, so sollen doch einige Resultate, gleichsam nur als ein Wink zum weitern Eindringen in das Gebiet dieser erhabensten aller Wissenschaften, hier angeführt werden.

Die Bahnen aller Planeten um die Sonne haben eine elliptische Form, und sind das Resultat zweier Centralkräfte (§ 41), die bei der Bewegung des Körpers um die Sonne in Wirksamkeit sind. Von der Sonne angezogen, würde der Planet dieser Centripetalkraft folgen, und in die Sonne hineinstürzen, wenn nicht von Anfang an, als Gott sein allmächtiges „es werde" sprach, der Körper durch einen Stoß seitwärts nach der Richtung der Tangente getrieben, und dadurch eine Centrifugalkraft entstanden wäre, die ein gewisses bestimmbares Verhältniß zu der Centripetalkraft behauptet und, wie sie, unausgesetzt thätig ist. Die vereinte Wirkung dieser beiden Kräfte erhält den Planeten in seinem Umschwunge um die Sonne, in welcher der Mittelpunkt der Kräfte liegt. Gefiel es dem Schöpfer, der Centrifugalkraft der Planeten ein Ziel zu setzen und sie aufhören zu lassen, indessen die Centripetalkraft allein fortwirkte, so würde die Erde, noch ehe 65 Tage zu Ende wären, schon in die Sonne gestürzt seyn und würde, einen Tag in den andern gerechnet, täglich über 300000 Meilen nach der Sonne hin zurücklegen. Merkur würde schon am sechszehnten, und Venus am vierzigsten Tage dort anlangen. Uranus brauchte 5420, Saturn 1900, Jupiter 766, Mars 122, Vesta 231, Juno 285, Ceres und Pallas 297 Tage zu diesem Falle.

Auch unter sich ziehen die Planeten sich wechselseitig an, allein diese Anziehung ist bei weitem geringer, als die Anziehung, mit der jeder von ihnen seine Bahn um die Sonne beschreibt, da die Masse der Sonne

Digitized by Google

noch viele hundertmal größer ist, als die Masse aller Hauptplaneten zusammen genommen, und die Anziehungskraft mit der Masse des anziehenden und des angezogenen Körpers im direkten Verhältniß ist.

Die Astronomie gibt Regeln an, nach welchen die verhältnißmäßige Größe dieser Massen bestimmt werden kann. Aus diesen geht hervor, daß die Erde $6^1/_4$mal mehr Masse als Merkur, $1^1/_{19}$mal mehr als Venus, 10mal mehr als Mars und mehr als 66mal so viel als der Mond hat. Uranus hat 17, Jupiter 315 und Saturn 96mal mehr Masse als die Erde. Die Sonne aber hat 337000mal mehr Masse als die Erde.

Mit den Regeln über die Bestimmung der verhältnißmäßigen Massen stehen dann wieder andere in Verbindung, aus denen sich ableiten läßt, mit welcher Kraft diese Weltmassen die Körper anziehen, die sich auf ihnen befinden mögen, und welche Räume sie auf ihnen beim freien Falle zurücklegen müßten. Merkur und Venus sind hierin der Erde ziemlich gleich. Auf dem Monde müßte ein Körper 3 Fuß, auf dem Mars 5 Fuß, auf dem Uranus 13 Fuß, auf dem Saturn 14 Fuß, auf dem Jupiter 36 Fuß tief in der ersten Sekunde fallen, auf der Sonne aber fiel er 389 Fuß tief in der ersten Sekunde.

§ 59. (Gravitationssystem.) Die allgemeine Schwere, dieses große Gesetzbuch der Natur, ist zwar hauptsächlich nur astronomischen Inhalts, zum nähern Verständniß der Wirkungen derselben kann es jedoch nicht anders, als höchst interessant seyn, die Entdeckungsgeschichte derselben näher kennen zu lernen. Nur in den allgemeinsten Umrissen mag daher ein kleines Bruchstück dieser Geschichte hier Platz finden.

Die Hypothese, daß die Erde mit allen Planeten um die Sonne gehe, und nicht die Sonne um die Erde, wie es dem bloßen Anblick und der alten Lehre nach zu seyn scheine, ward zuerst von Nicolaus Copernicus (geb. 1473, gest. 1543), wenn schon nur noch mit schwachen Waffen, vertheidigt. Rom sprach dieser Hypothese das Verdammungs-Urtheil; es traten auch wissenschaftlich gebildete Männer, und unter ihnen der sehr berühmte dänische Astronom Tycho (Tyge) de Brahe mit scharfsinnigen Einwürfen dagegen auf; dennoch wußte sie sich zu befestigen, und ist die Mutter des sinnreichen Gravitations-Systems geworden, eines Systems, dem die geheimsten Naturkräfte Rede stehen. Männer, reich mit Geistesgaben ausgestattet, traten als Vertheidiger der copernicanischen Hypothese auf, und nahmen sie gegen Vorurtheile, mystischen Aberglauben, Spitzfindigkeiten und blind eifernde Verfolgung in Schutz, obgleich ihre eigene Person dadurch oft in das Gedränge kam. Unter ihnen verdient Galileo Galilei (geb. 1564, gest. 1642) hier darum einer besonderen Erwähnung, weil er zuerst den Satz aufstellte, daß alle irdischen Körper gleich schwer seyen. Noch als Student vertheidigte er diesen Satz gegen seine Lehrer. Die zufällige Beobachtung schwingender Kronleuchter, die er in einer Kirche gleich lang herabhängen, und bei ungleicher Masse doch gleichzeitige Schwingungen machen sah, gab ihm den ersten Gedanken zu diesem wichtigen Satze ein. Er war damals erst neunzehn Jahre alt. In seinem fünf und zwanzigsten Jahre, als er Professor zu Pisa geworden war, stellte er öffentliche Versuche darüber an, und ließ von der Kuppel einer Kirche Körper von verschiedenem Gewichte mit Hülfe einer schiefen Ebene herabfallen, die alle gleich schnell zu Boden fielen, wodurch dann seine neue Behauptung in der Erfahrnng sich bewährte. Dieß machte kein geringes Aufsehen. Da damals neue Lehren das Unglück hatten, als

Digitized by Google

Ketzereien zu gelten, so sah auch Galilei einer Schaar blinder Eiferer und Verfolger sich preisgegeben; die Inquisition in Rom stand oben an. Als er nun gar mit Hülfe eines Fernrohrs, das er erfunden hatte, an der Venus, dem Merkur, den Jupiterstrabanten, dem Monde und den Sonnenflecken Entdeckungen machte, die dem copernicanischen System günstig waren, und diesem System bei allen Nationen neue Anhänger erwarben, da war es um seine Freiheit geschehen. Er mußte vor den heiligen Gerichtshof zu Rom sich stellen, und selbst sein Landesherr, der Großherzog von Toskana, der ihn ungemein schätzte, wagte es nicht, ihn öffentlich in Schutz zu nehmen. Nur durch die demüthigende Erklärung, daß er im Irrthum, die alte Lehre aber die rechte sey, wurde er nach einem Jahre dem Gefängnisse entlassen, jedoch mit dem Befehl, sich immer in dem Florentinischen aufzuhalten, und dieses Land nicht wieder zu verlassen. Mit solchen Waffen lassen sich aber Vernunft und Wahrheit nicht bekämpfen. Allenthalben, obgleich von der Menge verkannt, und von der Scheinheiligkeit geächtet, fanden und finden sie doch Tempel und Priester, und so gehen sie, nachdem sie hier, wohin sie sich geflüchtet, eine stille Pflege gefunden haben, zuletzt doch immer als Sieger hervor, und dringen als Gemeingut in das Leben ein. Unter denen, die sich zu dieser Zeit ihrer annahmen, nimmt der güterarme, aber geistesreiche Johann Kepler (geb. 1571, gest. 1630) eine der ersten Stellen ein. Obgleich er das copernicanische System nicht unmittelbar in Schutz nahm, hat er doch, vor allen seinen Zeitgenossen, den größten Antheil an dem Siege, den dieses System sich errang. Daran waren eigentlich seine berühmten Regeln schuld, die dieses System schon voraussetzen, mit ihm stehen und fallen. Diese Regeln, welche die Stützpunkte für alle Berechnungen über die Bewegung der Planeten geworden sind, gehören freilich der Astronomie mehr als der Physik an, können aber dennoch hier nicht unberührt bleiben, weil die Entdeckungsgeschichte der Gravitation in der engsten Beziehung zu ihnen steht, das Gravitations-System eigentlich aus ihnen hervorgegangen ist. Diese Regeln und das Gravitations-System waren es denn auch, wodurch das copernicanische Planeten-System über alle Einwürfe erhoben und so fest begründet wurde, daß die ersten Denker aller Nationen ihm ihre Huldigung nicht versagen konnten. Trat auch hier und da zuweilen noch Jemand gegen dieses System in die Schranken, so zeigte es sich doch zuletzt immer, daß der Kämpfer die Waffen nicht zu führen verstand, daß er weder mit diesen Regeln, noch mit dem Gravitations-System vertraut war, und nur mystisch zu träumen, nicht aber mit Vernunft und Einsicht zu reden verstand. Solche Gegner sind denn allerdings des Beurtheilens nicht werth.

Die Regeln, die man auch die Keplerischen Regeln nennt, verbreiten sich über folgende drei Hauptgesetze:

Erste Regel. Die Bahnen der Planeten sind elliptisch.

Bis auf Kepler war die Meinung herrschend, die Bahnen der Planeten seyen kreisförmig. Kepler stellte über die Bestimmung des jedesmaligen Orts eines Planeten am Himmel mühsame und fleißige Berechnungen an, konnte sie aber mit der Beobachtung nie in Uebereinstimmung bringen. Als er aber auf den Gedanken kam, die Bahn des Planeten als elliptisch anzunehmen, war der Knoten gelöst, und seine Berechnung harmonirte nun vollkommen genau mit der Beobachtung. Daher die Begründung dieser Regel.

Digitized by Google

**Zweite Regel. Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Kubikzahlen der Entfernungen.**

Jupiter ist mehr als fünfmal so weit als die Erde von der Sonne entfernt, seine Bahn um die Sonne hat mithin einen fünfmal größern Umfang als die Erdbahn, indeß er doch zur Vollendung seiner Bahn zwölfmal mehr Zeit braucht, als die Erde zur Vollendung der ihrigen nöthig hat. Die Bahn des Saturns ist zehnmal größer als die der Erde, doch braucht er dreißigmal mehr Zeit dazu, um sie zu vollenden. Diese auffallende Erscheinung tritt auch für die Bahnen aller übrigen Planeten ein; bei keinem ist der Umfang der Bahn mit dem Umfang der Erdbahn im Verhältniß der Zeit zu ihrer Vollendung. Nach siebenzehnjährigem Nachdenken brachte Kepler es endlich heraus, daß nicht die Umlaufszeiten und die Entfernungen von der Sonne dieses Verhältniß bestimmen, sondern daß es durch die Quadrate der Umlaufszeiten und durch die Kubikzahlen der Entfernungen bestimmt werde.

Beispiel.

Die Erde läuft in 365 Tagen um die Sonne. Das Quadrat dieser Umlaufszeit 365mal 365 = 132225.

Jupiter läuft in 11 Jahren und 314 Tagen = 4329 Tagen um die Sonne. Das Quadrat dieser Umlaufszeit ist 4329mal 4329 = 18740241. Das Quadrat der Umlaufszeit der Erde verhält sich demnach zum Quadrat der Umlaufszeit des Jupiters wie 132225 : 18740241, oder wie 1 : 141.

Ist nun die Regel richtig, so müssen die Kubikzahlen der Entfernungen sich ebenfalls wie 1 : 141 verhalten, und folglich die Entfernung selbst wie die Kubikwurzel aus 1 zur Kubikwurzel aus 141. Nun ist die Kubikwurzel aus 1 ebenfalls 1, und aus 141 ist sie über 5, daher Jupiter fünfmal so weit als die Erde von der Sonne abstehen muß.

Diese schöne Regel ist so allgemein richtig, daß man nach ihr nicht nur den verhältnißmäßigen Abstand aller Hauptplaneten von der Sonne auf das richtigste bestimmen kann, sondern auch den verhältnißmäßigen Abstand der Nebenplaneten von ihrem Hauptplaneten; es findet nirgends eine Ausnahme statt. Diese Regel begründet daher ganz besonders das copernicanische System; denn durch dieses System allein ist sie von so allgemeiner Gültigkeit. In einem System aber, das die Erde als ruhend betrachtet und um sie die Sonne mit allen Planeten herumlaufen läßt, findet sich eine auffallende und nicht leicht zu erklärende Ausnahme, andere zu geschweigen. Da nämlich der Mond in 27 Tagen und die Sonne in 365 Tagen um die Erde geht, so verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie 27mal 27 zu 365mal 365, oder wie 729 zu 132225, d. i. = 1 : 181. Dasselbe Verhältniß müßte denn auch zwischen den Kubikzahlen der Entfernungen stattfinden, und also die wahre Entfernung durch die Ausziehung der Kubikwurzeln gefunden werden. Nun ist die Kubikwurzel aus 181 etwas über 5, mithin wäre die Sonne nur etwa 5mal so weit von der Erde als der Mond entfernt. Da aber der Mond 50000, die Sonne hingegen 20000000 Meilen von der Erde absteht, so ist das Verhältniß des Abstandes wie 1 : 400; mithin die Regel, die nach dem copernicanischen System durchaus zutrifft, nunmehr grundfalsch.

**Dritte Regel. Die Zeit für einzelne Bahntheile steht mit dem Ausschnitt dieser Bahntheile im Verhältniß.**

Da die Bahnen der Planeten elliptisch sind, und die Sonne der Brennpunkt ist, um den sie alle sich bewegen, so kommt jeder Planet in

Digitized by Google

gewissen Stellen seiner Bahn der Sonne näher, in andern Stellen ist er dagegen weiter von ihr weg. In der Sonnennähe (Perihelium) legt aber der Planet in derselben Zeit einen größern Theil seiner Bahn zurück, als in der Sonnenferne (Aphelium). Kepler fand, daß die gerade Linie, die man sich von der Sonne zu dem Punkte hin vorstellen kann, wo der Planet eben in seiner Bahn steht (der Radius vector), in gleichen Zeiten auch gleiche Ausschnitte von der ganzen Bahn abschneidet. Mit den Flächen dieser Ausschnitte, und nicht mit der Länge der zurückgelegten Bahntheile, fand er die Zeit, die ein Planet gebraucht, um bald größere, bald kleinere Bogen zurückzulegen, im Verhältniß. Hiernach konnte man die bald langsamere, bald geschwindere Bewegung der Planeten, so wie von den Nebenplaneten, in ihren elliptischen Bahnen bestimmen.

Copernicus, noch mehr Galilei und Andere, vor Allen aber Kepler hatte nun zwar einen tüchtigen Grund zur Erklärung und richtigen Berechnung der Planetenbahnen gelegt; allein das Gesetz, durch welches gerade diese Bahnen beschrieben werden, so wie das Gesetz, das sie so unveränderlich in diesen Bahnen erhält und in nie gestörter Ordnung um die Sonne, ihren gemeinschaftlichen Quell des Lichts und der Wärme, lenkt, war noch nicht bekannt, obgleich man, und besonders Kepler, eine Idee von einer allgemeinen unsichtbaren Anziehungskraft sich gebildet hatte. Erst nachdem das Gesetz dieser Anziehungskraft ausgemittelt, und dadurch ihre Wirkung allgemein berechnet werden konnte, traten lichtvolle Begriffe an die Stelle dunkler Vorstellungen, und geheimnißvolle Lehren wurden in eine anschauliche Mechanik des Himmels verwandelt. Die Ausmittelung dieses Gesetzes hat man dem berühmten Britten Isaac Newton (geb. 1642, gest. 1727) zu verdanken, und sie ist es, die seinen Namen unsterblich macht. Die erste Veranlassung zur Auffindung dieses reichhaltigen Gesetzes war eine so unbedeutende Begebenheit, daß in der That das Genie eines Newton dazu gehörte, um sie von solcher Erheblichkeit zu finden. Als nämlich 1666 Newton seinen Aufenthalt zu Cambridge, wo die Pest wüthete, mit dem Aufenthalt auf dem Lande vertauschte, und er hier über die wundervolle Wirkung der Schwerkraft, die ihr unsichtbares Band um alle Erdkörper schlingt und keinen entfliehen läßt, nachzudenken Muße fand, sah er, als er eben allein in einem Garten umherging, einen Apfel von einem Baume herabfallen. Dieser Apfel, dachte er, würde doch wohl auch herabgefallen seyn, wenn der Baum berghoch wäre; warum nicht auch, wenn der Baum bis zum Mond reichte? Was den Apfel zur Erde trieb, könnte doch auch den Mond selbst zur Erde treiben. Was ist schuld daran, daß dieses nicht geschieht? Offenbar muß dieses durch eine zweite Kraft, die nach einer andern Richtung als die Schwerkraft wirkt, zu Stande gebracht werden. Auch könnte es überdieß wohl möglich seyn, daß die Schwerkraft, die in geringer Entfernung von der Erdoberfläche nur unmerklich abnimmt, eine weit merklichere Abnahme erleide, wenn die Entfernung bis nach dem Monde sich erstreckt. Wäre dieses gehörig zu begründen, so müßte aus der verhältnißmäßigen Wirkung dieser Kräfte, und aus der verhältnißmäßigen Abnahme der Schwerkraft für große Entfernungen, die Wirkung einer allgemeinen Anziehung sich berechnen, und somit das Phänomen sich erklären lassen, wie die Körper frei im Weltraume schweben, ohne sich jemals zu berühren, und elliptische Bahnen um die Sonne beschreiben.

Newton mußte sein ganzes Genie aufbieten, neue Auflösungs-



Digitized by Google

Methoden erfinden, bis es ihm nach mehreren Jahren glückte, der Aufgabe Meister zu werden, und er zu beweisen im Stande war, daß die Anziehungskraft in eben dem Verhältniß abnehme, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Dieser wichtige Satz führte auf die Erklärung der Bewegungen im Sonnensystem; denn aus ihm konnte nun bewiesen werden, wie groß die Gewalt der Anziehung sey, die die Himmelskörper auf einander ausüben. Aus dieser Untersuchung ging aber die Lehre der Centralkräfte (§ 41) und ihrer Wirkung hervor. Durch Rechnung konnte gezeigt werden, welche Art von krummer Linie ein Körper beschreiben müsse, um der verhältnißmäßigen Wirkung dieser Kräfte zu entsprechen, und da man nach Kepler's Regeln die Bahnen der Planeten als elliptisch kannte, in deren Brennpunkt die Sonne steht, so konnte hieraus die Wirkung der Centralkräfte im Weltraume und somit ihr Verhältniß bestimmt werden.

Auf diese Weise wurden denn die Keplerischen Regeln mit der größten Evidenz dargethan, und Erklärungen herbeigeführt, die selbst da aushelfen, wo Kepler's Regeln nicht mehr anwendbar sind. Große Mathematiker, wie Lagrange und Laplace, zeigten endlich, daß das sinnreiche Gravitationssystem keine einzige astronomische Frage unbeantwortet lasse, und daß wir mit diesem System wirklich an die Gränze menschlicher Forschung gelangt sind, hat bereits Kant schon dargethan.

§ 60. (Oestliche Abweichung frei fallender Körper.) Ein frei fallender Körper geht, von der Schwerkraft getrieben, in senkrechter Richtung dem Mittelpunkt der Erde zu. Fällt er aber von einer etwas beträchtlichen Höhe, so trifft er jedoch nicht genau auf den Punkt, der senkrecht darunter liegt, sondern etwas mehr nach Osten zu. Die Vertheidiger des copernicanischen Systems behaupteten auch, daß diese Abweichung nach Osten stattfinden müsse, weil die Erde sich um ihre Achse von Westen nach Osten drehe, und Newton schlug vor, durch Versuche sich von der Richtigkeit dieser Behauptung zu überzeugen. Da nämlich mathematisch bewiesen werden kann, daß die Schwungkraft eben so wie das Quadrat des Durchmessers zunimmt, mithin ein Punkt der Erdkugel desto geschwinder schwingt, je weiter er von dem Mittelpunkt der Erde entfernt ist, so konnte man nachweisen, daß der herabfallende Körper von zwei Seitenkräften getrieben werde; von der Schwerkraft, die ihn senkrecht abwärts treibt, und von der Schwungkraft, die ihn seitwärts nach Osten führt. Nun hat aber der Körper in dem Augenblick, wo sein Fall beginnt, die Geschwindigkeit des höher liegenden Punktes, und da er diese, vermöge der Trägheit, beibehält, so muß er auch östlich von der senkrechten Fallinie zu liegen kommen. Hooke, Newton's Zeitgenosse und Landsmann, stellte auch wirklich Versuche zur Prüfung dieser Behauptung, aus welcher die Rotation der Erde unmittelbar sich darthut, an, allein sie waren viel zu unvollkommen, und die Höhe von etwa dreißig Fuß, die er dazu annahm, viel zu unbedeutend, um daraus mit Erfolg einen entscheidenden Beweis führen zu können. In der That gehören aber auch diese Versuche, wenn sie bündig seyn sollen, zu den schwierigsten in der Physik, weil eine Menge fast unwahrnehmbarer Nebenumstände darauf Einfluß haben, und sie überhaupt immer nur von solchen Höhen aus anzustellen sind, die gegen den Halbmesser der Erde sehr klein ausfallen. Es dauerte auch lange, bis man diese Versuche neuerdings wiederholte, und erst gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts geschah dieses durch Guylielmini von dem

Digitized by Google

Asinellithurm zu Bologna. Die Versuche und Rechnungen, die dieser Gelehrte angestellt hat, sind aber ebenfalls, wie Laplace gezeigt und er selbst zuletzt zugegeben hat, nicht ganz fehlerfrei, und daher mißglückt. Dr. Benzenberg zu Hamburg fand es daher nothwendig, diese Versuche zu wiederholen; er bediente sich hierzu des Michaelisthurms zu Hamburg und eines Kohlenschachts zu Schlebusch. Der Michaelisthurm ist von einer Bauart, die ihn zu dergleichen Versuchen besonders geschickt macht; doch konnte, wegen des Luftzugs in der Kuppel, nicht seine ganze Höhe, die über 400 Fuß beträgt, sondern nur eine Höhe von 235 Fuß zu den Versuchen benutzt werden. 1802 stellte er die Versuche in dem Thurm, 1804 in dem Kohlenschacht an. An beiden Orten stimmte eine große Reihe von Versuchen, die alle mit der größten Genauigkeit und aller erdenklichen Berücksichtigung angestellt wurden, auf das genaueste mit der vom Professor Gauß angestellten Berechnung überein, und die Abweichung der freifallenden Körper nach Osten, und somit die Umdrehung der Erde um ihre Achse ist durch sie außer allen Zweifel gesetzt worden. Neuere Fallversuche, die 1831 von Reich und Brendel in dem Dreibrüderschacht zu Freiberg angestellt wurden, zeigten dasselbe Resultat, und zugleich auch eine geringe Abweichung nach Süden, wie schon Hooke, für Oerter außer dem Aequator, behauptet, und Newton als richtig erkannt hatte.

§ 61. (Wurfbewegung.) Wird ein Körper geworfen, so wird er von zwei Kräften zugleich, von der Schwerkraft und der Wurfkraft, in Bewegung gesetzt. Hierbei sind drei Fälle möglich:

1) Die Wurfkraft geht nach derselben Richtung, nach welcher die Schwerkraft geht, also lothrecht der Oberfläche der Erde zu.

2) Die Richtung der Wurfkraft geht lothrecht aufwärts, und wirkt demnach der Schwerkraft entgegen.

3) Die Richtung der Wurfkraft schließt mit der Richtung der Schwerkraft einen Winkel ein.

Im ersten Falle legt der Körper solche Fallräume zurück, die der Zusammenwirkung beider Kräfte gemäß sind. Kennt man den Raum, den er in einer Sekunde vermittelst der Wurfkraft allein zurücklegt, so darf man diesen, der sich, vermöge der Trägheit, immer gleich bleibt, nur zu dem Raum addiren, den er bloß durch die Schwerkraft zurücklegte, um den Fallraum von Sekunde zu Sekunde zu bestimmen.

Beispiel. Ein Körper habe einen solchen Wurf lothrecht abwärts bekommen, daß er von der Wurfkraft allein durch 40 Fuß in einer Sekunde fallen würde. Den freien Fall vorausgesetzt, wird nunmehr der Körper fallen:

in der 1. Sekunde durch $40 + 15 = 55$ Fuß
" " 2. " " $40 + 45 = 85$ "
" " 3. " " $40 + 75 = 115$ " u. s. f.

Ferner beträgt der ganze Fallraum am Ende einer jeden Sekunde:

am Ende der 1. Sekunde $40 + 15 = 55$ Fuß
" " " 2. " $2 \times 40 + 4 \times 15 = 140$ "
" " " 3. " $3 \times 40 + 9 \times 15 = 255$ "
" " " 10. " $10 \times 40 + 100 \times 15 = 1900$ "

und seine Endgeschwindigkeit wäre hier $= 30 \times 10 + 40 = 340$ Fuß.

Im zweiten Falle würde der lothrecht aufsteigende Körper gleichförmig ohne Ende fortsteigen, wenn die Schwerkraft ihn nicht daran verhinderte, und ihn in jedem Augenblick wieder zur Erde zurückzöge. So lange die



Digitized by Google

Wurfkraft stärker als die Schwerkraft ist, steigt nun zwar der Körper in die Höhe; allein sein Steigen ist, als eine bloße Wirkung der Trägheit, in jedem Moment dasselbe, während die Gegenwirkung der Schwerkraft in jedem Moment durch stetige Zunahme sich vergrößert. Der Körper steigt daher mit vergrößerter Bewegung, und gelangt zuletzt zu einer Höhe, in welcher die Wirkung der Wurfkraft von der Gegenwirkung der Schwerkraft aufgehoben wird. Von da an muß er dann mit beschleunigter Bewegung wieder nach der Erde zurückfallen.

Beispiel. Ein Körper habe einen Wurf lothrecht aufwärts bekommen, so daß er in einer Sekunde 150 Fuß steige. Setzt man alle Hindernisse, die seinem fortgesetzten Steigen sonst noch in den Weg treten, z. B. den Widerstand der Luft, ganz bei Seite, und bringt bloß die Gegenwirkung der Schwerkraft allein in Anschlag, so wird der Körper steigen:

in der 1. Sekunde 150 — 15 = 135 Fuß
„ „ 2. „ 150 — 45 = 105 „
„ „ 3. „ 150 — 75 = 75 „
„ „ 4. „ 150 — 105 = 45 „
„ „ 5. „ 150 — 135 = 15 „

und seine Erdgeschwindigkeit wäre hier = 150 — 5 × 30 = 0.

In der fünften Sekunde, wo der Körper nur noch durch 15 Fuß steigt, ist also die Wurfkraft der Schwerkraft gleich geworden, daher er nun zu sinken beginnt.

In der 6. Sekunde sinkt er durch 15 Fuß.
„ „ 7. „ „ „ „ 45 „
„ „ 8. „ „ „ „ 75 „
„ „ 9. „ „ „ „ 105 „
„ „ 10. „ „ „ „ 135 „

Aus diesem Beispiel läßt sich abnehmen, daß ein senkrecht aufsteigender Körper, dem bloß die Schwerkraft entgegen wirkt, eben so viel Zeit zu seinem Rückzug braucht, als er zum Steigen gebraucht hat. Wenn man daher die Zeit beobachtet, die er zum Steigen und zum Fallen gebraucht hat, so hat er in der Hälfte dieser Zeit seine größte Höhe erreicht. Hieraus kann diese dann berechnet werden. Im obigen Beispiel hat das Steigen und Fallen 10 Sekunden gedauert. Die Hälfte davon, also 5 Sekunden, brauchte er zum Fallen. Da er nun in 5 Sekunden durch 25 × 15 = 375 Pariser Fuß fällt, so war die größte Höhe, die er erreichte, ebenfalls 375 Fuß, wie auch durch das Beispiel erhellt, wenn man die einzelnen Räume, durch die er in den ersten 5 Sekunden gestiegen ist, zusammen zählt.

Wenn man die in Sekunden bestimmte Zeit, die der Körper zum Steigen und zum Fallen gebraucht hat, mit 15 multiplicirt, so findet man die Höhe, zu welcher er in der ersten Sekunde durch die Wurfkraft allein gestiegen seyn muß. In obigem Beispiel waren es 10 Sekunden; diese 15mal genommen gibt 150 Fuß für die Höhe der Wurfkraft in der ersten Sekunde. Hätte eine Rakete 8 Sekunden zum Steigen und Fallen gebraucht, so müßte sie, bloß der Wurfkraft folgend, in der ersten Sekunde 120 Fuß hoch gestiegen, und die größte Höhe, die sie erreicht hätte, müßte 16 × 15 = 240 Fuß gewesen seyn. Einzeln berechnet findet man dasselbe. In der 1. Sekunde steigt sie durch 120 — 15 = 105. In der 2. Sekunde durch 75, in der 3. Sekunde durch 45, in der 4. Sekunde durch 15. Zusammen gezählt gibt es wieder 240 Fuß.

Digitized by Google

Im dritten Falle, wo die Richtung der Wurfkraft mit der Richtung der Schwerkraft einen Winkel bilden soll, wird der geworfene Körper von zwei conspirirenden Kräften getrieben, von denen die eine, die Schwerkraft, eine stetig wachsende ist. Aus diesem Grunde wird die Bahn des Körpers eine krumme Linie werden müssen (§ 41). Setzt man den Widerstand der Luft bei Seite, so läßt sich aus mathematischen Gründen beweisen, daß diese krumme Linie hier eine solche werden muß, die man eine Parabel nennt. Eine halbe Parabel wird sie, wenn der Wurf horizontal geht, und eine ganze Parabel, wenn schräg aufwärts geworfen wird.

Eine Kugel, die aus einer Büchse abgeschossen wird, bekommt einen horizontalen Wurf, und kann daher nicht in gerader Richtung nach dem Ziele gehen, obgleich wegen der geringen Entfernung des Ziels, die Abweichung von der geraden Linie nicht sehr beträchtlich werden kann. Bei'm Scheibenschießen, wo Alles darauf ankommt, das Ziel zu treffen, wird eben darum die Büchse mit einem Visir versehen, welches etwas höher als das Korn (das vordere Ende des Laufs) ist. Dieses Visir paßt dann auch immer nur für eine bestimmte Entfernung, und muß sich ändern, so wie diese sich ändert. Nimmt die Entfernung zu, so muß das Visir höher, nimmt sie ab, muß es niedriger gemacht werden. Bliebe das Visir, indem die Entfernung wächst, so würde die Kugel unter das Ziel, bliebe es, indem die Entfernung kleiner wird, so würde sie über das Ziel gehen. Damit eine Büchse für verschiedene Entfernungen brauchbar bleibe, macht man das Visir verschiebbar.

Je größer die Kraft ist, mit welcher man eine Kugel gegen den Horizont abschießt, desto größer muß auch der Bogen werden, durch den sie sich bewegt. Könnte man nun eine Kugel mit solcher Gewalt forttreiben, daß sie in der ersten Sekunde einen Weg von 24268 Pariser Fuß zurücklegte, so würde sie nie wieder auf die Erde zurückkehren, sondern wie der Mond eine Centralbewegung erhalten, und stets um die Erde herum laufen.

Die Zahl für die angegebene Geschwindigkeit wird gefunden, wenn man den Durchmesser der Erde in Pariser Fuß mit dem Fall am Ende der ersten Sekunde multiplicirt, und aus dem Product die Quadratwurzel zieht, d. i. $x = \sqrt{39262228 \times 15} = \sqrt{588933420} = 24268$.

Eine sehr merkwürdige Wurfwaffe ist das Bumerang oder Keili, dessen sich die Wilden, namentlich in Neuholland, als Jagdgeschoß bedienen, und das aus einem Stück Holz besteht, das etwa $2\frac{1}{2}$ Fuß lang und $2\frac{1}{2}$ Zoll breit, auf der einen Seite eben, auf der andern etwas gewölbt ist. Mit der gewölbten Seite nach außen wird es von der Linken nach der Rechten geworfen, und fliegt nun sich drehend und fortschreitend, abwechselnd steigend und sinkend, 60 bis 70 Ellen weit fort, eine Höhe von 40 bis 60 Fuß erreichend, von wo aus es wieder zu dem Werfenden zurückfliegt, und seine Bewegung rückwärts in entgegengesetzter Richtung noch fortsetzt.

§ 62. (Schiefe Ebene.) Der Weg, den ein Körper bei'm freien Falle nimmt, muß eine Veränderung erleiden, so wie dieser Bewegung Hindernisse entgegen treten. Ein solches Hinderniß findet auch statt, wenn der Fall des Körpers auf einem vorgeschriebenen Wege vor sich geht, und ein solcher vorgeschriebener Weg ist das Hinabgleiten eines Körpers auf einer schiefen Ebene, die ihm nicht erlaubt, den lothrechten Weg des freien Falles zu nehmen. Eine Ebene ist aber schief (geneigt, inclinirt), wenn sie mit der Horizontalebene unter einem spitzen Winkel zusammen läuft, wie ac (Fig. 49).

Digitized by Google

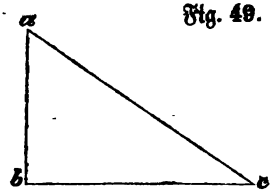


Fig. 49.

Auf einer senkrechten Ebene kann ein Körper, wenn er frei ist, gar nicht liegen bleiben, weil hier die Schwerkraft ihre völlige Wirkung auf ihn ausübt. Von einer horizontalen Ebene hingegen wird diese Wirkung in so weit aufgehoben, daß ein Körper, der auf einer solchen Ebene liegt, wohl einen Druck auf sie ausübt, aber nicht von ihr herabfallen kann, weil er durchaus unterstützt ist. Liegt aber ein Körper auf einer schiefen Ebene, so wird er nicht nur auf diese drücken, sondern auch, aus Mangel an hinlänglicher Unterstützung, von ihr herabfallen, wenn er nicht durch die Rauhigkeit des Bodens oder eine sonstige Ursache daran verhindert wird. Von dem freien Falle wird sich jedoch dieser Fall dadurch unterscheiden, daß er mit geringerer Kraft vor sich geht, und um so geringer, je mehr sich die schiefe Ebene der horizontalen nähert, je flacher sie wird. Daß aber die Kraft auf dem vorgeschriebenen Wege der schiefen Ebene in der That geringer seyn muß, als sie beim freien Falle ist, kann leicht eingesehen werden, wenn man erwägt, daß der Körper einen Theil der Kraft, die bei'm lothrechten Falle auf ihn wirkt, durch den Druck verliert, den er auf die schiefe Ebene ausübt. In diesem Sinne genommen, nennt man die ganze Kraft, die bei'm freien Falle wirkt, die absolute, den Theil, der durch den Druck verloren geht, die drückende, und den noch übrig bleibenden Theil, der ihn von der schiefen Ebene hinabtreibt, die respective oder relative.

Wo aber auch ein Körper auf einer schiefen Ebene liegen mag, so wird doch immer das Verhältniß dieser drei Kräfte unverändert bleiben. Der schiefe Fall muß daher, wie der senkrechte, eine gleichförmig beschleunigte Bewegung seyn, weil während der Falldauer die respective Kraft, bei unveränderter Neigung der schiefen Ebene zur horizontalen, eben so zunimmt, wie die Schwerkraft beim senkrechten Falle. Daher lassen sich die Gesetze für den senkrechten Fall auch auf den schiefen übertragen, mit der einzigen Beschränkung, daß der Fall des Körpers auf einer schiefen Ebene nicht 15 Pariser Fuß für die erste Sekunde seyn kann. Da sich die Prüfung der Gesetze des freien Falles durch unmittelbare Versuche, aus nur etwas bedeutenden Höhen, schon wegen des Widerstandes der Luft, nur äußerst schwer anstellen lassen, und die Mittel zur Beseitigung dieser Schwierigkeiten und die Versuche, wie durch die Atwood'sche Fallmaschine, im Kleinen mit Erfolg anzustellen, zur Zeit, als die Gesetze entdeckt wurden, noch nicht bekannt waren, so prüfte man auch diese Gesetze durch den Fall auf schiefen Ebenen, deren Neigung gering genug war, um den Widerstand der Luft als einflußlos darauf betrachten zu können. Man theilte die Länge einer nicht sehr geneigten Rinne in gleiche Theile ein, die zusammen eine Quadratzahl, z. B. 25, ausmachten. Mit Zuziehung einer Vorrichtung, die genau eine Sekunde angab, konnte man dann wahrnehmen, daß der fallende Körper, der am Ende der ersten Sekunde einen Theil der Rinne durchgefallen war, am Ende der zweiten vier, am Ende der dritten neun solcher Theile zurückgelegt hatte, daß mithin die ganzen Fallräume wie das Quadrat der Fallzeiten sich verhalten.

Man bedient sich der schiefen Ebene, theils um eine Last mit verringerter Anstrengung auf eine Höhe hinauf zu heben, theils auch um sie allmähliger von der Höhe herab zu schaffen. Da nämlich die Last einen

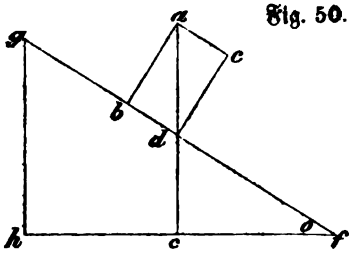
Digitized by Google

Theil ihres Widerstandes, den sie dem Emporheben entgegensetzt, durch den Druck verliert, den sie auf die schiefe Ebene ausübt, so braucht man nur eine Kraft anzuwenden, die der respectiven überlegen ist, um die Last auf die Höhe hinauf zu schaffen, statt daß sie, frei gehoben, eine Ueberwindung der ganzen absoluten Kraft erfordert. Bei'm Herabschaffen von einer Höhe würde durch die große Beschleunigung im Fallen eine schwere Last zertrümmert werden, statt daß sie auf der schiefen Ebene nur mit ihrer respectiven Kraft, daher weil allmähliger herunter fällt. Darauf gründet sich der Gebrauch und der Nutzen der Schrotleiter, der schief angelegten Laufbrücken, der Windungen der auf steile Anhöhen führenden Wege, um das Allzusteile zu umgehen, und dergl. m.

In den Lehrbüchern, die der angewandten Mathematik besonders gewidmet sind, lernt man auch die Berechnungen über den Effect der Schrauben, den man so mannigfaltig zum Heben, Festhalten und Zusammenpressen der Körper benutzt, so wie über den Effect des Keils, dessen man sich häufig zum Auseinandertreiben der Körper bedient, und vieler keilförmig gebildeten Werkzeuge, als hervorgehend aus den Betrachtungen über die schiefe Ebene, kennen.

Der Fall eines Körpers auf einer schiefen Ebene, oder, was einfacher ist, der Fall eines materiellen Punktes auf einer schiefen Linie, läßt sich vermittelst der Zerlegung der Kräfte durch Zeichnung versinnlichen.

Fig. 50.




Fällt ein materieller Punkt a (Fig. 50) gegen die Horizontallinie hf in der Richtung von a nach e, so ist die Linie ae die Richtung des freien Falles, daher senkrecht auf hf. Durch den Widerstand, den die schiefe Linie gf seinem Falle entgegensetzt, geht aber ein Theil der senkrechten Fallkraft verloren. Fällt man von a eine Linie ab senkrecht auf gf, zieht dann durch a eine Linie ac, die so groß wie bd und mit ihr gleichlaufend ist, und fällt man von c eine Linie cd ebenfalls senkrecht auf gf, so entsteht ein Parallelogramm, welches die Zerlegung der Fallkraft ad in die beiden Seitenkräfte ab und ac darstellt. Von diesen wird nun ab durch den Widerstand der schiefen Ebene ganz aufgehoben, und der Punkt kann daher nur in der Richtung ac sich bewegen, in welcher er in eben der Zeit durch bd fällt, in der er bei'm freien Falle durch ad gefallen wäre. Von einem Körper, der von einer schiefen Ebene herabgleitet, kann man auf eine ähnliche Weise den verloren gehenden und den bleibenden Theil der Fallkraft bestimmen.

Eine jede schiefe Ebene hat ihre Länge gf, ihre Grundlinie hf, ihre Höhe hg und einen Neigungswinkel o, den die schiefe Ebene mit der horizontalen bildet. Da ac mit gf gleichlaufend ist, so ist auch der Winkel dac = dem Winkel edf (als Gegenwinkel), e = c (als rechte Winkel), also adc = o. Weil nun adc = o ist, c gleich ist h (als rechte Winkel), so ist auch dac = g, mithin ist das Dreieck hgf ähnlich dem Dreieck adc. Hieraus ergeben sich folgende Proportionen:

1) ad : ac = gf : gh

d. h. die absolute Kraft verhält sich zur respectiven, wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Höhe.

2) ad ; dc = gf : hf

Digitized by Google

d. h. die absolute Kraft verhält sich zur drückenden, wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Grundlinie.

3) dc : ac = hf : gh

d. h. die drückende Kraft verhält sich zur respectiven, wie die Grundlinie der schiefen Ebene zu ihrer Höhe.

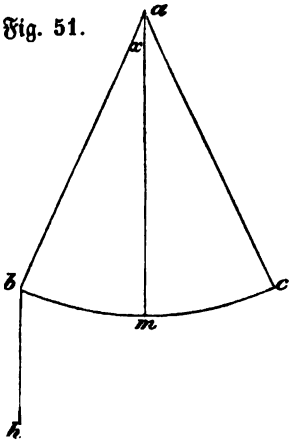
Hätte die schiefe Ebene eine Länge von 50 Pariser Fuß und eine Höhe von 5 Pariser Fuß, so verhielte sich:

ad : ac = 50 : 5 = 10 : 1.

Die respective Kraft wäre also zehnmal geringer, als die absolute. Da nun die absolute Kraft den Körper in der ersten Sekunde durch 15 Pariser Fuß treibt, so bringt ihn die respective nur durch $1\frac{1}{2}$ Pariser Fuß in der ersten Sekunde. Um durch die ganze Länge der schiefen Ebene zu fallen, braucht daher der Körper eine Zeit $= r\frac{50}{1\frac{1}{2}} = r\ {}^{100}/_{3} = {}^{100}/_{17} =$ beinahe 6 Sekunden.

Man hat schiefe Ebenen von Holz, die so eingerichtet sind, daß sich vermittelst eines bei c (Fig. 49. S. 102 angebrachten Scharniers, der Neigungswinkel vergrößern und verkleinern läßt. Bei a ist eine Rolle, um welche eine Schnur geht, deren eines Ende in einen Körper gehängt wird, der auf der schiefen Ebene liegt, und deren anderes Ende jenseits a herunter hängt und mit einer Wagschaale versehen ist. Durch die Gewichte, die man in die Wagschaale einlegt, läßt sich dann bestimmen, wie viel Kraft ein Körper erfordert, um für verschiedene Neigungswinkel auf der Ebene liegen zu bleiben.

Fig. 51.




§ 63. (Pendel.) Ein jeder schwerer Körper m (Fig. 51), der vermittelst eines Fadens oder einer Stange von einem unbeweglichen Punkt a so herabhängt, daß er, von diesem Punkt gehalten, sich hin und her bewegen kann, wird ein Pendel (Perpendikel) genannt.

So einfach nun dieses Werkzeug an und für sich im Zustande der Ruhe ist, wo es, in der Richtung der Fallinie, vertical herabhängend, auch ein Senkel, Loth, Bleiloth heißt, so zusammengesetzt ist es dagegen, wenn von seinen Bewegungen die Rede ist. In diesem Zustand kann es dazu dienen, die Wirkungen der Schwerkraft mit großer Schärfe zu bestimmen, die wechselseitige Anziehung der Körper anschaulich zu machen, die Zeit mit großer Genauigkeit zu messen, die wahre Gestalt der Erde zu erforschen, und so ist es hier, wie in noch vielen andern sehr zahlreichen Anwendungen, mathematisch, physisch und technisch eines der wichtigsten Werkzeuge.

Die ausführlichen Untersuchungen zur genauen Bestimmung der Gesetze der Pendelbewegungen sind daher von dem größten Nutzen, aber mitunter auch so verwickelt und schwierig, daß man nur auf dem Wege der höhern Mathematik sie zu beweisen im Stande ist.

Eben dieser Schwierigkeiten wegen entwickelt man die allgemeinen Gesetze der Pendelbewegungen zuerst von einem solchen Pendel, dessen

Digitized by Google

ganze Schwere in einem einzigen physischen Punkt m liegt, und stellt sich vor, dieser Punkt hänge an einem Faden am, der selbst ohne alle Schwere sey. Ein solches Pendel, das freilich in der Wirklichkeit nirgends zu finden ist, wird darum auch ein idealles Pendel, ein einfaches oder mathematisches Pendel genannt, während ein wirkliches Pendel, das aus einem Körper besteht, und wo der Faden, an dem es hängt, selbst schwer ist, ein zusammengesetztes oder physisches Pendel heißt. Bei dem einfachen Pendel nennt man die Entfernung des schweren Punktes m von dem Aufhängepunkte a die Länge des Pendels. Ein sehr kleines Körperchen, das man zum Pendel nimmt, und ein sehr feiner Faden, an dem es hängt, kommt dem einfachen Pendel dem Erfolge nach sehr nahe, und dient daher vorzüglich zu Versuchen über die Gesetze des Pendels.

So lange der schwere Punkt m senkrecht unter dem Aufhängepunkte a ist, muß das Pendel ruhen, weil in dieser Lage die Schwerkraft, die den Punkt abwärts zieht, von dem Faden, der ihn hält, aufgehoben wird. Bringt man aber den Punkt m aus der lothrechten Lage heraus, indem man ihn nach b zieht, so kann das Pendel in der Lage ab nicht ruhen, indem die Schwerkraft, die hier den Punkt nach bh zieht, mit dem schiefen Faden ba einen Winkel macht. Wenn daher der Punkt m in b freigelassen wird, so wirken zwei Kräfte auf ihn ein, deren mittlerer Weg ihn wieder nach m zurückführt. Weil aber dieser mittlere Weg durch eine ununterbrochene Wirkung der abwärts und aufwärts ziehenden Kraft erzeugt wird, wodurch die Lage des Punktes von b bis m in jedem auch noch so kleinen Zeittheilchen stets verändert wird, so muß er von der geraden Linie bc abweichen und bogenförmig werden. Ist der Punkt wieder in m angelangt, so sollte er hier ruhen, er kann aber nicht dazu gelangen, weil ihn die Trägheit in Bewegung erhält. Daher er von hier aus nach c hin wieder aufsteigt, und zwar eben so bogenförmig, wie er von b nach m zurückgegangen ist, weil die bewegenden Kräfte sich dabei nicht ändern. Weil nun von m bis c die Geschwindigkeit durch die stete Entgegenwirkung der Schwerkraft genau eben so abnehmen muß, wie sie von b bis m zugenommen hat, so muß c mit b gleich hoch über m liegen, und der Bogen mc dem Bogen mb gleich seyn. Von c geht dann die Bewegung wieder nach m hinab, von da wieder nach b hinauf und so fort, bis endlich äußere Hindernisse der Bewegung ein Ende machen, das Pendel seine lothrechte Lage wieder erlangt und in Ruhe kommt. Aeußere Hindernisse, wozu besonders der Widerstand der Luft gehört, so wie die Reibung des Fadens an dem Aufhängpunkt a, sind auch schuld daran, daß die Bogen bei jedem Hin- und Hergang immer kleiner werden.

Diese Bewegungen des Pendels werden Schwingungen, Oscillationen (Vibrationen), und der Winkel x, den das Pendel in der Lage ab mit der lothrechten Lage am macht, wird der Aufhebungswinkel, der Oscillationswinkel, der Elongationswinkel genannt. Der Weg von b bis m und von da bis c, also der ganze Bogen bmc heißt eine ganze Schwingung, die Hälfte dieses Wegs bm und mc heißt ein halber Schwung, und wird oft auch ein Pendelschlag genannt. Die Zeit, die für ein ganze Schwingung erforderlich ist, heißt die Schwingungsdauer, und Schwingungen, die gleich lang dauern, werden gleichdauernd (isochronisch) genannt. Sollen mehrere Pendel isochronisch seyn, so müssen sie ihre Schwingungen in gleichen Zeiten vollenden.

Digitized by Google

Die merkwürdigen Gesetze der Pendelschwingungen, die Galilei zuerst entdeckt, Huyghens weiter ausgeführt hat, und die in neuerer Zeit noch mehr begründet wurden, sind folgende:

I. Beschreibt ein Pendel einmal größere, ein andermal kleinere Schwingungsbogen, so sind seine Schwingungen zwar nicht isochronisch, lassen sich aber für unsere Sinne als isochronisch betrachten, wenn die Bogen sehr klein sind.

II. Weder die Masse, noch die Größe, noch die Gestalt und die eigenthümliche Beschaffenheit des schwingenden Körpers hat unter sonst gleichen Umständen irgend einen Einfluß auf die Schwingungsdauer, und wäre die Luft den Schwingungen nicht hinderlich, so würde für gleiche Schwingungsbogen die Schwingungsdauer dieselbe seyn, der schwingende Körper möchte aus irgend einem Metalle, aus Holz oder sonst einer Materie bestehen, und ein Gewicht, eine Größe und Gestalt haben, wie er wolle.

III. Aendert sich aber die Länge des Pendels bei gleichen Aufhebungswinkel, so ändert sich auch die Schwingungsdauer ab. Je kürzer ein Pendel wird, desto mehr Schwingungen macht es auch in derselben Zeit. Man kann dieses schon inne werden, wenn man nur einen Faden, an welchem eine Kugel hängt, zwischen die Finger hält, und den Faden bald kürzer, bald länger werden läßt.

Die darüber angestellten Berechnungen ergaben, daß die Schwingungsdauer sich nach der Quadratwurzel aus der Pendellänge richte. Aus 4 ist die Quadratwurzel 2, aus 9 ist sie 3. Ist daher ein Pendel einmal 4 Fuß, ein andermal 9 Fuß lang, so wird das vierfüßige, unter gleichem Aufhebungswinkel, in zwei Zeittheilen eben so viele Schwingungen machen, als das neunfüßige in drei solcher Zeittheile macht.

Daher man auch aus der Schwingungsdauer eines Pendels einen Schluß auf die Pendellängen machen kann; denn diese müssen sich dann wie die Quadrate der Schwingungsdauer verhalten. Hätte ein Pendel bei einer gewissen Länge in drei Zeittheilen eben so viele Schwingungen gemacht, als es bei einer andern Länge in vier solcher Zeittheile gemacht hat, so müßte es im ersten Falle 9 Längentheile gemessen haben, deren es im andern Falle 16 gemessen hat.

Ein Pendel, das schneller schwingen soll, muß daher verkürzt, und wenn es langsamer schwingen soll, verlängert werden. Soll es noch einmal so schnell schwingen, so muß es viermal, soll es dreimal schneller schwingen, muß es neunmal kürzer werden, und eben so muß seine Länge sich vergrößern, wenn es langsamer schwingen soll.

IV. Da alle diese Gesetze offenbar von dem Einfluß der Schwerkraft herrühren, indem bei dem einfachen Pendel weiter keine Nebenumstände mit einwirken, so folgt von selbst, daß, wenn ein und dasselbe Pendel an verschiedenen Orten in derselben Zeit eine ungleiche Menge Schwingungen macht, auch die Schwerkraft von verschiedener Stärke seyn und sich dann ebenfalls wie die Quadrate dieser Schwingungen verhalten müsse. Hätte man z. B. beobachtet, daß ein Pendel, das unter dem Aequator in 24 Stunden 86400 Schwingungen machte, an einem andern Orte, bei gleicher Länge und unter demselben Aufhebungswinkel 86600 Schwingungen gemacht hat, so verhielte sich die Schwerkraft unter dem Aequator zu der an diesem Orte wie $86400^2 : 86600^2$, d. i. = 746196 : 749956, oder wie 1 : 1,0043. Eine Masse, die unter dem Aequator einen Druck

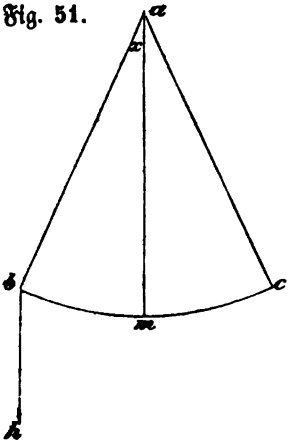
Digitized by Google

von 10000 ℔ auf ihre Unterlage ausübt, wird daher an diesem Orte einen Druck von 10043 ℔ ausüben. (§ 54).

Ueberträgt man die Gesetze des einfachen Pendels auf das physische Pendel, so hat diese Reduction eigne mathematische Schwierigkeiten. Bei einem solchen Pendel ist nämlich die Stange, woran der schwingende Körper hängt, aus einer Menge schwerer Punkte zusammengesetzt, die alle auf die Schwingungsdauer Einfluß haben. Ein solches Pendel muß daher unter gleichen Umständen schneller als ein einfaches schwingen, weil die höher liegenden Punkte den Schwung der tiefer liegenden vergrößern. Sollen daher die Gesetze des einfachen Pendels auch für das physische ihre Anwendung finden, so muß vor Allem der Punkt gefunden werden, der für das physische Pendel die Stelle des einzigen, als schwer gedachten Punktes bei dem einfachen Pendel vertrete. Man nennt ihn den Mittelpunkt des Schwunges. Obgleich so viel sich einsehen läßt, daß bei dem physischen Pendel der Mittelpunkt des Schwunges dem Aufhängpunkte näher als bei'm einfachen rücken muß, wenn beide isochronisch seyn sollen, so ist doch die Aufgabe: die bestimmte Stelle dieses Punktes für jeden schwingenden Körper zu bestimmen, eben das, wodurch der Uebergang von dem einfachen zum zusammengesetzten Pendel nicht wenig erschwert wird. Hat man aber erst diesen Knoten gelöst und den Schwingungspunkt gefunden, so kann das zusammengesetzte Pendel völlig als ein einfaches betrachtet werden, in so fern man die äußern Umstände, die sonst noch auf seine Schwingungen Einfluß haben, außer Acht läßt. Vielen begegnet man durch die Einrichtung und die Form des Pendels. So gibt man dem physischen Pendel gewöhnlich eine linsenförmige Gestalt, weil diese durch ihre Schärfe die Luft leichter zu durchschneiden vermag, und eben darum gibt man ihm auch ein möglichst großes Gewicht. Die Schwingungen eines Stockes im Schlagen sind gewissermaßen als Schwingungen eines zusammengesetzten Pendels anzusehen, und die Wirkung der Schläge wird am größten, wenn sie mit der Stelle verübt werden, welche um $^2/_3$ der Stocklänge von der Hand absteht.

Man kann ein Pendel so einrichten, daß es in einer Stunde genau 3600 ganze Schwingungen mache, also zu einer ganzen Schwingung durch den Bogen bmc (Fig. 51) genau eine Sekunde brauche. Ein solches Pendel, welches ein Sekundenpendel genannt wird, ist in seinen Resultaten von ganz besonderm Belang.

Fig. 51.




1) Wäre das Sekundenpendel an allen Orten und in allen Gegenden der Erde von genau gleicher Länge, so würde daraus hervorgehen, daß auch die Schwerkraft allenthalben von gleicher Stärke seyn müsse, da von den beiden Kräften, die das Pendel in seinen Schwingungen erhalten, die eine, die es nach b hinzieht, bei gleichem Aufhebungswinkel, ohnehin nirgends eine Aenderung erleidet. In der Erfahrung hat es sich aber ganz anders gezeigt. Dieselbe Pendeluhr, die zu Paris 86400 Schwingungen in 24 Stunden machte, mithin hier ein Sekundenpendel war, machte in derselben Zeit auf

Digitized by Google

der Insel Cayenne, wohin sie mitgenommen wurde, nur 86280 Schwingungen, 3595 in einer Stunde, oder nur 719 Schwingungen in 720 Sekunden. Um hier, unter beiläufig dem 5ten Breitengrad, eben so wie in Paris, unter nicht ganz dem 49sten Grad der Breite, zu schwingen, mußte das Pendel um $1^1/_4$ Linien kürzer gemacht werden, dagegen aber seine vorige Länge wieder bekommen, als es, von der Reise zurück, wieder in Paris aufgestellt wurde, so daß offenbar die Reise ohne Einfluß auf den Gang der Uhr war.

Diese Beobachtungen wurden im Jahr 1672 von dem französischen Mathematiker Richer gemacht, und jetzt weiß man, daß ein Sekundenpendel, das zu Paris eine Länge von 0,993867 Meter hat, zu London 0,994123, zu Petersburg 0,994910, zu Drontheim 0,995013, auf Spitzbergen 0,996036, auf dem Vorgebirg der guten Hoffnung 0,992589, auf St. Helena 0,991604, zu Trinidad 0,991061 Meter lang seyn muß.

In den Unterschieden dieser Pendellängen, obgleich sie an und für sich nur sehr klein sind, liegt aber, da sie alle, mit noch viel mehreren, mit den vorzüglichsten Instrumenten und mit äußerster Genauigkeit angestellt wurden, der unumstößliche Beweis, daß die Schwerkraft nicht überall von gleicher Stärke sey, und daraus folgt dann ferner, daß die Oberfläche der Erde nicht an allen Orten gleichweit von dem Mittelpunkt derselben entfernt, die Erde also keine vollkommene Kugel seyn kann. Weil aber die Länge des Sekundenpendels immer etwas größer wird, je näher der Ort den Polen zu liegt, also immer etwas langsamer schwingen muß, um eine Sekunde anzugeben, so muß auch die Schwerkraft nach den Polen hin stärker, als zum Aequator hin seyn, und je näher man jenen ist, desto näher muß man daher auch dem Mittelpunkt der Erde seyn. Die Erde muß mithin nach den Polen zu eine eingedrückte, abgeplattete Gestalt haben (§ 54). Dieses war denn auch die Ursache, daß zu Cayenne Richer das Pendel verkürzen mußte, und Newton war der Erste, dessen Scharfsinn dieses sogleich erkannte, und hierin auch einen vollständigen Beweis für die Rotation der Erde fand.

Indessen ist doch die Abplattung der Erde so gering, daß die Achse von Pol zu Pol nur etwas über 5 Meilen kleiner ist, als der Durchmesser der Erde von Osten nach Westen, oder, nach einer jetzt gewöhnlichen Annahme, dieser zu jener sich verhält wie 304 : 303.

Durch vielfache und äußerst genaue Versuche und Rechnungen hat man gefunden, daß ein Sekundenpendel, welches unter dem Aequator, d. i. unter Null Grad Breite, eine Länge von 439,318 Pariser Linien, oder 0,991027 Meter haben muß, unter den Polen, d. i. unter dem 90sten Breitengrad, 441,606 Pariser Linien, oder 0,996189 Meter lang seyn müsse. Durch den Unterschied dieser Längen, der nur 2,288 Pariser Linien, oder 0,005162 Meter beträgt, kann die Länge des Sekundenpendels für jeden andern Ort, unter jedem Breitengrad südlich oder nördlich vom Aequator, auch durch Rechnung gefunden werden. Die Regel ist, man multiplicirt diesen Unterschied mit dem Quadrat des Sinus des Breitengrads, und addirt das Produkt zu der Pendellänge unter dem Aequator.

Beispiel. Frankfurt am Main liegt unter dem 50° 8′ nördlicher Breite, wie lang ist hier das Sekundenpendel?

Antwort. $x = \sin. 50°\,8' \times 2{,}288 + 439{,}318$; $\sin. 50°\,8' = 2 \log. \sin. 50°\,8'$ $= 2 \times 9{,}8851000$ und für den Halbmesser oder sin. tot. $= 1$ ist dieser Logarithme $= 2 \times 9{,}8851000 - 20 = 19{,}7702000 - 20 = -0{,}2298000 + 1 = 0{,}7702000$ $=$ log. 0,589.

Nun ist $0{,}589 \times 2{,}288 = 1{,}348$ und dieses Produkt zu 439,318 addirt, gibt 440,666 Pariser Linien für die Länge des Sekundenpendels zu Frankfurt am Main. Reducirt man dieses auf hiesige Werkschuh, der $126^1/_6$ Pariser Linien hält, so ist dessen Länge $= 3'\ 5''\ 10''', 85$.

Digitized by Google

Will man die Pendellänge nach Meter bestimmen, so ist $0{,}589 \times 0{,}005162 = 0{,}003040$. Dieses Produkt zu 0,991027 addirt, gibt 0,994067 Meter. Auf Frankfurter Werkmaß reducirt, den Werkschuh zu 0,28461 Meter, gibt wiederum die obige Länge.

Unter dem 50sten Breitengrad (Mainz) gibt die Rechnung schon eine kleine Abweichung, und hier würde, wie vorhin gerechnet, 0,994056 Meter für die Länge des Sekundenpendels herauskommen.

2) An einem und demselben Orte bleibt das Sekundenpendel zu allen Zeiten von gleicher Länge. Hieraus geht hervor, daß auch die Schwerkraft für jeden Ort unveränderlich dieselbe bleibt.

3) Mehr als durch irgend einen andern Versuch kann man sich durch das Pendel von dem Gesetze: daß alle Körper gleich schwer sind, überzeugen, weil die materielle Beschaffenheit des schwingenden Körpers ohne Einfluß auf die Schwingungsdauer ist. Wären aber die Körper ungleich schwer, so müßte, außer der Pendellänge, ein Sekundenpendel auch von der Materie des schwingenden Körpers abhängen, was nicht der Fall ist.

4) Das Sekundenpendel ist das schicklichste Mittel zur Bestimmung des Weges für den freien Fall in der ersten Sekunde, und zwar mit einer Genauigkeit, die durch keinen Versuch mit irgend einem andern Werkzeuge erreicht werden kann. Mit Hülfe des Sekundenpendels kann man ihn bis auf den vierten Theil einer Linie bestimmen.

Die Formel dazu ist:

$$g = \tfrac{1}{2}\, l\, \pi^2$$

wo g die Fallhöhe am Ende der ersten Sekunde, l die Länge des Sekundenpendels, $\pi$ die bekannte Peripheriezahl des Kreises bedeutet, nämlich $\pi = 3{,}141592\ldots..$, wofür hier 3,142 angenommen wird.

Ist z. B. die Länge des Sekundenpendels zu Frankfurt am Main 440,666 Pariser Linien, so ist hier:

$$g = 220{,}333 \times 3{,}142^2 = 2175{,}163$$

Pariser Linien, dividirt durch 144 = 15,105 Pariser Fuß.

5) Daß die Schwerkraft mit der Entfernung von der Erde abnimmt, läßt sich ebenfalls am schicklichsten aus den Schwingungen des Pendels abnehmen. Dasselbe Pendel, das an dem niedrigen Ufer des Amazonenflusses 98770 Schwingungen machte, hatte in eben der Zeit auf dem über 15000 Fuß hohen Berge Pichincha in Süd-Amerika nur 98720 Schwingungen gemacht.

6) Versuche mit dem Pendel haben auch gezeigt, daß die Schwerkraft von ihrer lothrechten Richtung durch nahe liegende isolirte Gebirgsmassen eine Ablenkung erleidet. Hierdurch ist es dann auch erwiesen, daß die Körper sich wechselseitig anziehen. Sehr genaue und feine Beobachtungen hierüber stellte Maskelyne am Fuße des isolirt liegenden Berges Shihallien in Schottland an, wo das Pendel um ein wenig von seiner lothrechten Lage abwich.

7) Da die Schwingungen eines Pendels eine so genaue Gleichzeitigkeit haben, so können sie auch zur Messung der Zeit benutzt und der Gang der Uhren nach ihnen regulirt werden. Jedoch ist dabei nicht außer Acht zu lassen, daß das Pendel, wie alle Körper, durch die Wärme ausgedehnt, also länger wird und langsamer schwingt, durch die Kälte aber sich zusammenzieht, also kürzer wird und schneller schwingt. Diese Störung ist zwar nur gering, und hat auch auf den Gang der gewöhnlichen Uhren keinen sehr bemerkbaren Einfluß, bei Uhren hingegen, wo es, wie bei denen, die auf Sternwarten gebraucht werden, auf größere Genauigkeit ankommt, ist

Digitized by Google

der Einfluß der Wärme und Kälte allerdings von Bedeutung. Dieß veranlaßte die Erfindung des Compensations- oder Roſtpendels (§ 155).

8) Wegen der ſchwierigen und mühſamen Reductionen des einfachen Pendels auf das zuſammengeſetzte, war man ſeit geraumer Zeit ſchon darauf bedacht, andere ſinnreiche Verfahren in Anwendung zu bringen, um dergleichen Pendel, namentlich für die Beſtimmung der wahren Länge des Sekundenpendels, bequemer conſtruiren zu können. Eines der vorzüglichſten, nunmehr zu den feinſten Meſſungen gebrauchten Pendels iſt das Kater'ſche Reverſionspendel (unveränderliche Pendel). Bohnenberger machte zuerſt darauf aufmerkſam, gab auch die Conſtruction und den Gebrauch dieſes Pendels ausführlich an, und Capitän Kater, der Bohnenberger's Vorſchlag nicht kannte, erfand es ſpäterhin auf's Neue. Es beſteht dieſes Pendel, das nachgehends von dem berühmten Aſtronomen Beſſel u. A. noch manchfach verbeſſert wurde, aus einem möglichſt genau gearbeiteten Metallſtabe, in welchem zwei Schneiden a und b (Fig. 52) angebracht ſind, und dieſe befinden ſich ſo genau in dem Schwingungspunkte, daß das Pendel gleich ſchnell ſchwingt, man mag es in a oder umgekehrt in b aufhängen. Aus dem Abſtand von a zu b findet ſich die Länge des gleich ſchnell ſchwingenden mathematiſchen Pendels, und durch die verſchiebbaren Laufgewichte v und w kann man es dahin bringen, daß es ein genaues Sekundenpendel wird.

Fig. 52.

Kater wurde auf die Erfindung ſeines mit ſehr großer Genauigkeit ausgeführten Reverſionspendels geführt, als er Mitglied der Kommiſſion war, die den Auftrag hatte, für das beſtehende engliſche Maß- und Gewichtsſyſtem ein für alle Zeiten ſicheres Normalmaß aufzufinden, wozu dann die Länge des Londoner Sekundenpendels, welches bei + 62 Grad Fahrenheit (13⅓ Grad Reaumür) im luftleeren Raume und an dem Meeresſpiegel 39,1393 engl. Zoll lang angenommen wurde, ſo daß auf ein Yard oder 36 Zoll nahe 0,92 dieſer Länge kommen, wonach dann auch die Hohlmaße und Gewichte normirt wurden. Davon abweichend iſt das neue franzöſiſche Normalmaß, da man hier ſtatt der Länge des Sekundenpendels einen Erdmeridian dafür einnahm. Dieſen theilte man in 400 Grade und der 40 Millionſte Theil deſſelben wurde ein Meter genannt. Dieſer beträgt, als Fundamentalmaß aller übrigen franzöſiſchen Maße und Gewichte, bei Null Grad Reaumür: 443,296 franz. Linien.

9) Ein Pendel, das ſo eingerichtet iſt, daß es mit beliebig verzögerter Geſchwindigkeit ſchwingen muß, und durch welches man dann Zeiten von willkürlicher Länge meſſen kann, wird ein Metronom oder muſikaliſcher Taktmeſſer genannt.

Anmerkung. Das allgemeine Geſetz, aus welchem die übrigen Geſetze des Pendels für ſehr kleine Schwingungsbogen und für ſolche Schwingungen, die unter gleichem Aufhebungswinkel erfolgen, abgeleitet werden können, iſt folgendes:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}}$$

wo t die Schwingungszeit, $\pi$ die Peripheriezahl des Kreiſes = 3,142,

Digitized by Google

l die Pendellänge, g den Fallraum eines freifallenden Körpers am Ende der ersten Sekunde bedeutet.

Sind nun t und g bekannt, so kann man l finden. Es ist nämlich:

$$\frac{t}{\pi} = \sqrt{\frac{l}{2g}}$$

$$\text{daher } \left(\frac{t}{\pi}\right)^2 = \frac{l}{2g}$$

$$\text{also } l = \frac{2gt^2}{\pi^2}$$

Für das Sekundenpendel, wo t = 1, ist daher

$$l = \frac{2g}{\pi^2}$$

Setzt man g = 15 Pariser Fuß, so ist

$$l = \frac{30}{3{,}142^2} = \frac{30000000}{9872164} = 3{,}038$$

Pariser Fuß für die Länge des Sekundenpendels.

Soll das Pendel ein halbes Sekundenpendel seyn, so ist

$$l = \frac{30000000 \times (\frac{1}{2})^2}{9872164} = \frac{7500000}{9872164} = 0{,}76$$

Pariser Fuß.

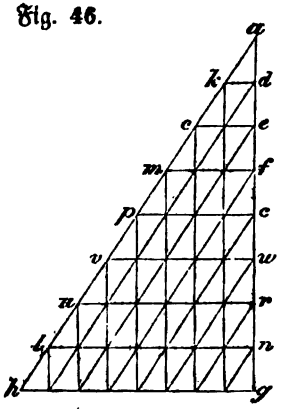
Sollte es aber ein Minutenpendel seyn, so ist

$$l = \frac{30000000 \times (60)^2}{9872164} = 10940$$

Pariser Fuß, beinahe $\frac{1}{2}$ Meile.

§ 64. (Geschwindigkeit gleichförmig beschleunigter Bewegung.) Die Geschwindigkeit einer Bewegung läßt sich bestimmen durch die Vergleichung der Zeitdauer der Bewegung mit dem zurückgelegten Wege (§ 32). Diese Bestimmung hängt aber davon ab, daß die Bewegung selbst gleichförmig, mithin so sey, daß immer in derselben Zeit auch derselbe Weg zurückgelegt werde. Ist aber eine Bewegung ungleichförmig, wie dieses beim freien Falle, bei dem Falle auf der schiefen Ebene und bei den Pendelschwingungen sich zeigt, so kann der in irgend einer Zeit zurückgelegte Weg nicht mehr zum Maßstab der Geschwindigkeit benutzt werden, weil dieser Weg mit jedem neuen Zeittheilchen sich verändert. Die Geschwindigkeit einer ungleichförmigen Bewegung läßt sich daher nur dadurch bestimmen, daß man sie auf die einer gleichförmigen Bewegung zurückzuführen sucht.

Fig. 46.




Die Geschwindigkeit, die ein Körper durch eine gleichförmig beschleunigte Bewegung erlangt, hat am Ende eines jeden Zeittheilchens eine gewisse Zunahme erhalten, und diese Zunahme schreitet von Null an nach der Ordnung der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w. fort. Bei einer solchen Bewegung wird also am Ende der zweiten Sekunde die Geschwindigkeit doppelt so groß, am Ende der dritten Sekunde dreimal so groß, am Ende der hundertsten Sekunde hundertmal so groß und überhaupt am Ende der mten Sekunde mmal so groß sein, als sie am Ende der ersten Sekunde gewesen ist. Mit Hülfe der Zeichnung (Fig. 46) läßt sich dieses noch deutlicher einsehen. Stellt man sich unter ag eine Zeit vor, die ein Körper

Digitized by Google

zur Vollendung einer gleichförmig beschleunigten Bewegung gebraucht hat, und theilt diese Zeit in lauter untheilbare Augenblicke ad, de, ef u. s. f. ein, die alle gleich groß sind, so können die Linien kd, ce, mf die Geschwindigkeit bezeichnen, die er am Ende eines jeden solchen Augenblicks erlangt hat. Diese Linien sind gleichlaufend, und es bilden sich Dreiecke, die unter sich ähnlich sind. Daher verhält sich:

$$kd : ce = ad : ae = 1 : 2$$
$$kd : mf = ad : af = 1 : 3$$

Hat nun der Körper am Ende des ersten Augenblicks die Geschwindigkeit kd, so hat er am Ende des zweiten eine doppelte, am Ende des dritten eine dreifache u. s. f.

Ist nun ein Körper eine gewisse Zeit hindurch mit gleichförmig beschleunigter Bewegung fortgegangen, so hat er vom Anfang bis zum Ende dieser Zeit eine gewisse Endgeschwindigkeit erlangt. Weil aber diese Geschwindigkeit nur allmählig angewachsen ist, so kann sie auch nicht so groß seyn, als sie seyn würde, wenn der Körper seine Bewegung gleich mit dieser Geschwindigkeit begonnen hätte, und, sie beibehaltend, die ganze Zeit hindurch in bloß gleichförmiger Bewegung geblieben wäre. Sich davon vollkommen zu überzeugen, bedenke man, daß die Endgeschwindigkeit von einem untheilbaren Augenblick zum andern nach der Ordnung der natürlichen Zahlen erwachsen ist, und daß die Geschwindigkeit bis zur Mitte dieser Augenblicke um eben so viel kleiner muß gewesen seyn, als sie von dieser Mitte weiter an größer geworden ist. Der Körper würde demnach denselben Weg in einer gleichen Anzahl untheilbarer Augenblicke zurückgelegt haben, wenn er seine Bewegung gleich mit der mittlern Geschwindigkeit begonnen hätte. Da nun die mittlere Geschwindigkeit nur die Hälfte der Endgeschwindigkeit ist, so müßte eine Geschwindigkeit, die gleich im Anfang so groß als die Endgeschwindigkeit gewesen wäre, und gleichförmig angehalten hätte, größer, und zwar doppelt so groß seyn.

Ein Körper, der mit einer durch eine gleichförmig beschleunigte Bewegung erlangten Endgeschwindigkeit seine Bewegung gleichförmig ohne neue Beschleunigung fortsetzt, wird daher in einer Zeit, die so groß ist, als die Zeit, die er zur Erlangung dieser Endgeschwindigkeit gebraucht hat, einen doppelt so großen Weg zurücklegen.

Weil nun die Endgeschwindigkeiten nach der Ordnung der natürlichen Zahlen zunehmen, so müssen alle Verhältnisse, die auf diese bezogen werden können, auch von den Endgeschwindigkeiten wahr seyn, und dieses findet dann bei'm freien Falle und beim Falle auf der schiefen Ebene statt. Hier wachsen die ganzen Fallräume im Verhältniß zum Quadrat der Fallzeiten, und diese Fallzeiten schreiten nach der Ordnung der natürlichen Zahlen fort. Daher denn auch die ganzen Fallräume sich verhalten, wie die Quadrate der Endgeschwindigkeiten. Hieraus geht dann hervor, daß die Endgeschwindigkeiten sich wie die Quadratwurzeln aus den ganzen Fallräumen verhalten.

Es läßt sich aber für eine jede Endgeschwindigkeit einer gleichförmig beschleunigten Bewegung eine Geschwindigkeit angeben, die dem Erfolg nach dieselbe ist, aber zu einer gleichförmigen Bewegung gehört. Dieß bestehet darin, daß man den mit der Endgeschwindigkeit zurückgelegten Weg der ersten Sekunde doppelt nimmt, weil er doppelt so groß seyn müßte, wenn der Körper mit der Endgeschwindigkeit seine Bewegungen angefangen und gleichförmig fortgesetzt hätte. Dieß Gesetz mit dem verbunden, daß die

Digitized by Google

Endgeschwindigkeiten wie die natürlichen Zahlen fortschreiten, führt auf das Gesetz, nach welchem die zu jeder Fallhöhe gehörige Geschwindigkeit bestimmt werden kann. Es ist dieses: man verdoppele den zurückgelegten Weg der ersten Sekunde und multiplicire ihn mit der ebenfalls in Sekunden bestimmten Fallzeit.

### Beispiele.

1) Mit welcher Geschwindigkeit schlägt ein Körper auf die Erde, der 4 Sekunden zu seinem freien Falle gebraucht hat? Antwort: In der ersten Sekunde legt ein Körper 15 Pariser Fuß zurück; doppelt genommen sind es 30; mit 4 multiplicirt gibt 120. Also schlägt er mit einer Geschwindigkeit von 120 Pariser Fuß, d. h. so auf, als ob er, in gleichförmiger Bewegung, 120 Fuß in der ersten Sekunde gemacht hätte.

2) Wie viel Zeit braucht ein Körper zum freien Falle, wenn er mit einer Gewalt aufschlagen soll, die so groß ist, als ob er in gleichförmiger Bewegung 1000 Par. Fuß in der ersten Sekunde zurückgelegt hätte? Antw.: Da hier die Zeit gesucht wird, so muß man das Verfahren umkehren, und durch 30 dividiren. Nun ist $1000 : 30 = 33\frac{1}{3}$, also müßte er $33\frac{1}{3}$ Sekunden lang fallen.

3) Mit welcher Geschwindigkeit schlägt ein frei fallender Körper auf, der 240 Fuß hoch herabfällt? Antw.: Aus der Fallhöhle suche man erst die Fallzeit; diese ist $= \sqrt{240/15} = 4$ Sekunden. Hieraus gibt sich dann die Geschwindigkeit $= 4 \times 30 = 120$ Fuß.

4) Aus welcher Höhe müßte ein Körper frei herabfallen, um eine Gewalt auszuüben, als ob er 1000 Par. Fuß bei gleichförmiger Bewegung in der ersten Sekunde gefallen wäre? Antw.: Aus der Geschwindigkeit suche man erst die Fallzeit; diese ist $= 1000/30$, und multiplicire das Quadrat der Fallzeit mit 15. Man erhält nun $(1000/30)^2 \times 15 = 16666\frac{2}{3}$ Pariser Fuß.

Bezeichnet man mit g die Fallhöhe der ersten Sekunde für den freien Fall, mit t die Fallzeit, mit s die ganze Fallhöhe und mit m die zur Fallhöhe gehörige Geschwindigkeit, wenn die Bewegung gleichförmig wäre, so kann man die obigen vier Beispiele allgemein angeben. Im 1. Beisp. wird m gesucht, und t ist bekannt.

$$\text{Daher } m = 2gt.$$

Im 2. Beisp. wird t gesucht, und m ist bekannt.

$$\text{Daher } t = \frac{m}{2g}.$$

Im 3. Beisp. wird m gesucht, und s ist bekannt.

$$\text{Daher } m = 2g\sqrt{\frac{s}{g}} = \sqrt{\frac{4g^2s}{g}} = \sqrt{4gs} = 2\sqrt{gs}.$$

Im 4. Beisp. wird s gesucht, und m ist bekannt.

$$\text{Daher } s = \left(\frac{m}{2g}\right)^2 \times g = \frac{m^2 g}{4g^2} = \frac{m^2}{4g}.$$

Die Ausdrücke können nun auch auf die schiefe Ebene angewendet werden, mit der Beschränkung, daß g, welches beim freien Falle 15 Par. Fuß ist, bei der schiefen Ebene erst durch das Verhältniß der absoluten Kraft zur respectiven (§ 62) ausgemittelt werden muß.

Als Beispiel wollen wir einen Rutschberg annehmen. Ein solcher Berg habe 200 Par. Fuß Länge und eine Steigerung, die auf 6 Fuß Länge $4\frac{1}{8}$ Fuß senkrechte Höhe beträgt. Wie groß ist die Geschwindig-



Digitized by Google

keit, mit welcher ein Schlitten von der Spitze des Rutschberges bis zum Fuße gelangt? Antw.: Bei einem solchen Rutschberg verhält sich die absolute Kraft zur respectiven wie $6 : 4\frac{1}{6} = 36 : 25$. Demnach beträgt die Fallhöhe am Ende der ersten Sekunde $25 \times \frac{15}{36} = 10\frac{5}{12}$ Par. Fuß; dieses ist nun g. Folglich ist nach dem dritten Beispiele:

$$m = \sqrt{4gs} = \sqrt{(4 \times 10\frac{5}{12} \times 200)}$$
$$= 91{,}9 \text{ Pariser Fuß beinahe,}$$

d. h. der Erfolg ist einer gleichförmigen Bewegung gleich zu achten, in in welcher der Schlitten mit einer Geschwindigkeit geht, die über 91 Par. Fuß für die erste Sekunde betrage.

Auch für die Bestimmung der Geschwindigkeit einer Wurfbewegung, die senkrecht abwärts oder aufwärts geht, sind die gefundenen Ausdrücke zu gebrauchen. Wollte man, um auch hierüber ein Beispiel anzuführen, die Zeit finden, die eine Kugel braucht, bis sie wieder zur Erde gelangt, wenn sie aufwärts aus einer senkrecht eingegrabenen Kanone mit einer Geschwindigkeit von 1000 Fuß in einer Sekunde abgeschossen wird, so muß die Antwort hierauf folgendermaßen gefunden werden: Wie im zweiten Beispiele bestimme man die Fallzeit; diese ist $t = \frac{m}{2g} = \frac{1000}{30} = 33\frac{1}{3}$.

Die Kugel wird demnach $33\frac{1}{3}$ Sekunde lang steigen, folglich auch eben so lange fallen (§ 61). Jetzt kann man auch die Höhe bestimmen, bis zu welcher sie steigen wird; diese ist $(33\frac{1}{3})^2 \times 15 = 16666\frac{2}{3}$ Par. Fuß. In der Wirklichkeit wird nun freilich eine Kugel, die mit der angegebenen Geschwindigkeit senkrecht in die Höhe geschossen wird, zu keiner solchen Höhe gelangen können, wie sie berechnet worden ist, da sie nicht frei steigen kann. Der schwedische Feldzeugmeister Helwig stellte hierüber mit 90 ℔ schweren eisernen Cylindern Versuche an; er ließ sie senkrecht in die Höhe schießen. Mit 1 ℔ Pulver auf den Schuß fielen sie nach 22 Sekunden wieder auf die Erde nieder, sind also 11 Sekunden lang gestiegen, und haben demnach eine Höhe von etwa 1800 Par. Fuß erreicht. Mit 3 ℔ Pulver auf den Schuß fielen sie nach 30 Sekunden auf die Erde nieder, und gelangten also zu einer Höhe von etwa 3300 Fuß; sie fielen nur höchstens 50 Fuß weit von dem Orte nieder, von welchem aus sie in die Höhe geschossen wurden, und das Getöse, das sie im Fallen machten, war so groß, daß in einem Umfange von $\frac{1}{8}$ Meile angebundene Pferde sich losrissen, und die Leute aus den Häusern liefen, in der Meinung, daß diese über sie zusammenstürzen würden.

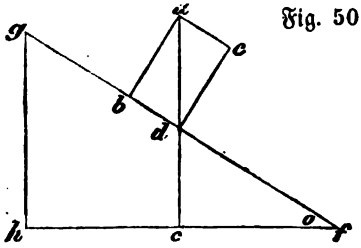


Fig. 50.

Für die Geschwindigkeit, die ein Körper erlangt, der von einer schiefen Ebene herabfällt, läßt sich auch noch der in der Anwendung wichtige und an sich merkwürdige Umstand beweisen, daß sie am Ende des Falles gerade so groß seyn müsse, als sie sein würde, wenn der Körper frei durch die senkrechte Höhe der schiefen Ebene gefallen wäre. Ein Körper, der von g nach f fällt (Fig. 50), hat also am Ende dieselbe Geschwindigkeit, die er in h haben würde, wenn er frei von g nach h gefallen wäre. Denn daraus, daß man bedenkt, daß die Beschleunigung von g nach f gerade um so viel geringer seyn muß, als sie von g nach h

Digitized by Google

ist, um so viel gf größer ist als gh, folgt, daß sich die Beschleunigung umgekehrt verhalten müsse, wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Höhe. Nennt man nun g die Beschleunigung für den freien Fall von g nach h, so kann sie für die schiefe Ebene aus folgender Proportion ersehen werden, nämlich: gh : gf = g : x

und da sie umgekehrt ist, so ist

$$x = \frac{gh \times g}{gf}$$

Bezeichnet man mit c die Endgeschwindigkeit des freien Falles von g nach h, so ist $c = \sqrt{4g \times gh}$ (S. 113).

Bezeichnet man mit u die Endgeschwindigkeit für den Fall auf der schiefen Ebene von g nach f, so ist $u = \sqrt{(4 \times \frac{gh \times g}{gf} \times gf)}$, also ebenfalls $= \sqrt{4g \times gh}$, daher c = u, d. h. beide Endgeschwindigkeiten sind sich gleich. Für den freien Fall bedeutet g die Fallhöhe von 15 Par. Fuß. Ist nun gf fünfmal so lang als gh, so wäre g nur 3 Par. Fuß, denn 5 : 1 = 15 : 3. Nun müßte für den freien Fall $c = \sqrt{4 \times 15}$ seyn, und für den Fall auf der schiefen Ebene wäre $u = \sqrt{(4 \times 3 \times 5)} = \sqrt{4 \times 15}$, also c = u.

Aus diesem merkwürdigen Umstand geht wieder ein anderer hervor, der, daß ein Körper, der von mehreren aneinanderhängenden schiefen Ebenen herabfällt, am Ende des Falles dieselbe Geschwindigkeit erlangt, die er erlangen würde, wenn er frei von einer Höhe herabfiel, die so groß wäre, als die einzelnen Höhen von allen diesen schiefen Ebenen zusammen genommen. Er wird demnach auch die nämliche Geschwindigkeit am Ende der letzten schiefen Ebene erlangen, die er erlangt hätte, wenn er von einer schiefen Ebene herabgefallen wäre, die vom Scheitel der ersten sich gerade nach dem Endpunkt der letzten erstreckte.

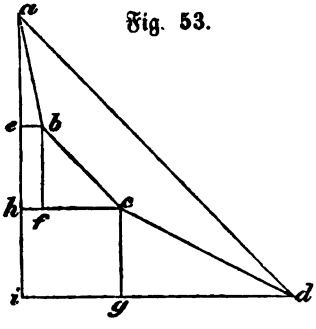


Fig. 53.

Die Zeichnung (Fig. 53) dient zur Versinnlichung; ab, bc, cd seyen drei aneinanderhängende schiefe Ebenen. In b ist die Geschwindigkeit so groß, als sie in e wäre; in c wäre sie, von b nach c, so groß als in f von b nach f; in d, von c nach d, wäre sie so groß als in g von c nach g. Da nun bf = eh und cg = hi ist, so hat er in d die Geschwindigkeit ae + eh + hi = ai, also dieselbe, die er in i hätte, wenn er senkrecht von a nach i frei gefallen wäre, daher auch dieselbe Geschwindigkeit, die er in d hätte, wenn er von a bis d, durch die einzige schiefe Ebene ad gefallen wäre.

Hieraus geht wiederum hervor, daß ein Körper, der in einer krummen Linie herabfällt, am Ende seines Falles dieselbe Geschwindigkeit haben müsse, die er hätte, wenn er durch die Sehne dieser krummen Linie gefallen wäre, weil jede krumme Linie, als eine Zusammensetzung aus unendlich kleinen, sich zusammenneigenden geraden Linien betrachtet werden kann. Diese Sätze dienen denn dazu, zu beweisen, daß die Geschwindigkeiten, die ein Pendel erlangt, indem es durch Kreisbogen verschiedener Elonga-



Digitized by Google

tionswinkel geht, ſich wie die Sehnen dieſer Bogen verhalten. Hierin liegt die Brauchbarkeit des Pendels zu Verſuchen über Bewegungen, deren Geſchwindigkeitsverhältniß dadurch beſtimmt werden kann, daß man einen Pendel ſo einrichtet, daß die Sehnen, die zu den verſchiedenen Schwingungsbogen gehören, ſich wie die Zahlen 1, 2, 3, u. ſ. f. zuſammen verhalten.

---

## Fünftes Kapitel.

### Stoß.

§ 65. (Begriff.) Auf der Erde iſt jeder Raum mit irgend einer Materie erfüllt, die für ſich undurchdringlich iſt. Daher denn auch ein jeder Körper, der in Bewegung iſt, ſtets auf andere trifft, die ihn aufhalten, oder von ihm Bewegung mitgetheilt bekommen. Dieſes Zuſammentreffen zweier Körper, von denen mindeſtens einer in Bewegung ſeyn muß, wird der Stoß genannt.

§ 66. (Bedingungen.) Wie jedes Ereigniß in der Natur, hat auch der Stoß ſeine Geſetze, deren Modificationen von gewiſſen Bedingungen abhängig ſind. Im Allgemeinen ſind es folgende:

1) Ob der Stoß von einem feſten Körper gegen einen andern feſten Körper, oder von einem feſten Körper gegen einen flüſſigen Körper erfolgt, oder ob beide Körper flüſſig ſind.

2) Stoßen feſte Körper einander, ſo wird die Wirkung ſehr verſchieden ſeyn, je nachdem beide weich, oder beide hart ſind, oder der eine weich und der andere hart iſt. Ueberhaupt wird die Wirkung des Stoßes ſehr von der materiellen Beſchaffenheit und auch von der Geſtalt des ſtoßenden und des geſtoßenen Körpers abhängen. Vorzüglich viel kommt es aber dabei darauf an, ob beide unelaſtiſch, oder beide elaſtiſch ſind, oder ob der eine ein elaſtiſcher, der andere ein unelaſtiſcher Körper iſt.

3) Das Verhältniß der Maſſe des ſtoßenden Körpers gegen die Maſſe des geſtoßenen.

4) Die Geſchwindigkeit, mit welcher beide Körper vor dem Stoße ſich bewegen, oder ob der geſtoßene vor dem Stoße in Ruhe war.

5) Die Richtung, die der ſtoßende Körper gegen den geſtoßenen hat. Dieſe Richtung kann ſo ſeyn, daß eine gerade Linie, die von dem Mittelpunkt des ſtoßenden Körpers ausgeht, ſenkrecht auf der Fläche ſteht, gegen welche er anſtößt. Ein ſolcher Stoß heißt dann ein *gerader* oder *ſenkrechter Stoß*. Steht dieſe Linie in ſchiefer Richtung auf der Fläche, ſo wird der Stoß ein *ſchiefer Stoß* genannt.

6) Die Stelle, wo beide Körper ſich einander ſtoßen. Iſt dieſe Stelle zugleich die Mitte der Körper, ſo heißt der Stoß ein *centraler*; iſt ſie dieſes nicht, ſo wird ein *excentriſcher Stoß* genannt.

§ 67. (Gerader und centraler Stoß unelaſtiſcher Körper.) Der einfachſte Fall für die Geſetze des Stoßes iſt der, wo zwei Kugeln ſich einander ſenkrecht ſtoßen, in welchem Falle, weil es Kugeln ſind, der Stoß zugleich auch ein centraler iſt. Sind nun beide Kugeln unelaſtiſch, ſo gelten dabei folgende Geſetze:

I. Allgemeines, für jeden geraden Stoß gültiges Geſetz iſt, daß gar kein Stoß erfolgen kann, wenn beide Kugeln hinter einander ſich bewegen, und die vordere eine größere Geſchwindigkeit hat, als die nachkommende.

Digitized by Google

II. Folgt aber eine Kugel der andern so, daß die nachkommende eine größere Geschwindigkeit als die vorhergehende hat, so kann jene diese einholen, und ihr einen Stoß versetzen. Hierdurch wird die Geschwindigkeit, mit der sie sich bewegen, eine Veränderung erleiden. Um diese zu bestimmen, muß man die einzelnen Fälle berücksichtigen.

1) Wenn beide Kugeln verschiedene Massen haben.

Da der Stoß keine Veränderung der Massen bewirken kann, so verändert er bloß die Geschwindigkeit. Durch den Stoß verliert aber die nachfolgende Kugel einen Theil ihrer bewegenden Kraft, und eben dieser Theil geht an die Kugel über, die ihr voranging. Die bewegenden Kräfte werden berechnet, wenn man jede Masse mit ihrer Geschwindigkeit multiplicirt (§ 34), daher die Geschwindigkeiten gefunden werden, wenn man die bewegenden Kräfte durch die Masse dividirt. Aus dieser Betrachtung geht nun das Gesetz hervor: man findet die Geschwindigkeit nach dem Stoße, wenn man die bewegenden Kräfte, die vor dem Stoße wirksam waren, zusammen addirt, und durch die Summe der beiden Massen dividirt.

Beispiel. Eine unelastische Kugel von 5 Loth bewege sich mit einer Geschwindigkeit von 10 Fuß in einer Sekunde; hinter ihr her folge eine andere Kugel von 8 Loth mit einer Geschwindigkeit von 12 Fuß in einer Sekunde. Die bewegende Kraft der ersten Kugel ist $5 \times 10 = 50$; die der andern ist $8 \times 12 = 96$; beide bewegende Kräfte addirt, geben 146 als bewegende Kraft nach dem Stoße. Diese durch die Summe der Massen $(5 + 8) = 13$ dividirt, gibt $11^3/_{13}$ Fuß Geschwindigkeit, die jede Kugel nach dem Stoße hat.

Mit Hülfe der Buchstabenrechnung wird die Darstellung noch leichter und allgemeiner. Man nenne m die Masse und g die Geschwindigkeit der einen Kugel, die Masse der andern Kugel nenne man k, ihre Geschwindigkeit c, so läßt sich nach dem Ausdruck $\frac{mg + kc}{m + k}$ die Geschwindigkeit nach dem Stoße für jeden beliebigen Fall berechnen.

2) Wenn beide Kugeln gleiche Massen haben.

Da der vorige Fall allgemein wahr ist, so ist auch der gegenwärtige schon mit darin enthalten. Der Ausdruck $\frac{mg + kc}{m + k}$ geht, weil die Massen gleich sind, nunmehr in den über $\frac{mg + mc}{m + m}$ der einerlei ist mit dem $\frac{m\,(g + c)}{2m}$ und woraus hervorgeht $\frac{g + c}{2}$

Die Geschwindigkeit nach dem Stoße wird demnach, wenn die Massen gleich sind, dadurch gefunden, daß man nur die Geschwindigkeiten vor dem Stoße addirt und die Summe halbirt.

Beispiel. Eine unelastische Kugel bewege sich mit einer Geschwindigkeit von 10 Fuß in einer Sekunde; eine andere von gleicher Masse folge ihr mit der Geschwindigkeit von 12 Fuß in einer Sekunde. Nach dem Stoße werden sie also eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit $(10 + 12) : 2 = 11$ Fuß in einer Sekunde haben.

III. Kommt eine Kugel auf eine andere zu, die in Ruhe ist, so werden sie nach dem Stoße mit gemeinschaftlicher Geschwindigkeit fortgehen. Indessen sind auch hier wieder einzelne Fälle zu unterscheiden.

Digitized by Google

1) Wenn beide Kugeln verschiedene Massen haben.

Auch hier findet der allgemeine Ausdruck $\frac{mg + kc}{m + k}$ seine Anwendung, nur daß nunmehr c selbst Null ist, daher auch kc Null werden muß. Darum geht jetzt der Ausdruck in den über $\frac{mg}{m + k}$ und hieraus ergibt sich das Gesetz: wenn eine unelastische Kugel gegen eine andere ruhende sich bewegt, so findet sich ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße dadurch, daß man die bewegende Kraft der einen Kugel durch die Summe der beiden Kugelmassen dividirt.

Beispiel. Auf eine unelastische ruhende Kugel von 20 Loth werde eine andere geschoben, die 8 ℔ (256 Loth) wiege, und mit einer Geschwindigkeit von 10 Fuß in einer Sekunde. Wie groß wird ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße seyn? Antwort: $\frac{256 \times 10}{20 + 256} = \frac{2560}{276} = 9^{16}/_{69}$ Fuß in einer Sekunde.

2) Ist die bewegende Kraft der stoßenden Kugel gegen die Masse der gestoßenen eine ganz unbedeutende Größe, so wird der Ausdruck $\frac{mg}{m + k}$ ein gar kleiner Bruch werden, und er kann so sehr klein werden, daß beide Körper nach dem Stoße nicht mehr Kraft genug haben, die Hindernisse ihrer Bewegung zu überwinden, daher nach dem Stoße beide in Ruhe bleiben.

Beispiel. Die gestoßene Kugel wiege 100 Zentner (320000 Loth), die stoßende 2 Loth, und habe eine Geschwindigkeit von 1 Fuß in einer Sekunde. Nach dem Stoße wäre demnach ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit $^2/_{320002} = {}^1/_{160001}$ Fuß in einer Sekunde, eine Geschwindigkeit, mit der sie noch nicht einmal den Widerstand der Luft überwinden werden; so werden sie also nach dem Stoße ruhen müssen.

Ein Hammerschlag, der gegen eine harte Wand geführt wird, ein Stein, der auf einen harten Boden fällt, gehören in die Erscheinungen, von denen hier die Rede ist.

3) Wenn beide Kugeln gleiche Massen haben.

Da nunmehr $k = m$ ist, so wird jetzt die gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße $\frac{mg}{2m}$ also $\frac{g}{2}$ seyn. Die stoßende Kugel und die gestoßene werden nach dem Stoße mit einer gemeinschaftlichen Geschwindigkeit fortgehen, die halb so groß ist, als die Geschwindigkeit der stoßenden Kugel vor dem Stoße war.

IV. Bewegen sich beide Kugeln gegen einander, so werden sie zwar nach dem Stoße auch eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit haben; allein die bewegenden Kräfte, die sich im Stoße entgegenwirken, werden sich gegenseitig aufheben. Einzelne Fälle lassen sich ebenfalls dabei berücksichtigen.

1) Wenn beide Kugeln verschiedene Massen und verschiedene Geschwindigkeiten haben.

Nach dem Stoße werden beide Kugeln zwar nach der Richtung derjenigen fortgehen, die im Besitze der größern bewegenden Kraft ist; allein im Stoße wird die kleinere bewegende Kraft, so viel sie beträgt, durch

Digitized by Google

ihre Gegenwirkung von der größern aufheben. Man findet daher die gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße, wenn man die kleinere bewegende Kraft von der größern abzieht, und den Rest durch die Summe beider Kugelmassen dividirt.

Aus diesem ist zu ersehen, daß der obige Ausdruck $\frac{mg + kc}{m + k}$ auch hier wieder brauchbar ist, nur daß er jetzt in den $\frac{mg - kc}{m + k}$ übergeht.

Beispiel. Eine unelastische Kugel von 5 Loth bewege sich mit einer Geschwindigkeit von 10 Fuß in einer Sekunde; ihr entgegen komme eine andere von 8 Loth mit einer Geschwindigkeit von 12 Fuß in einer Sekunde, Die bewegende Kraft der einen ist demnach 50, die der andern 96. Nach der Richtung von dieser werden sie nach dem Stoße gemeinschaftlich fortgehen; die Frage ist, mit welcher Geschwindigkeit? Antwort: $\frac{96 - 50}{13} =$ $3\frac{7}{13}$ Fuß in einer Sekunde.

2) Wenn beide Kugeln gleiche Massen, aber verschiedene Geschwindigkeiten haben. Dann wird der Ausdruck $\frac{mg - kc}{m + k}$ sich in den abändern $\frac{mg - mc}{m + m}$ dieser ist einerlei mit dem $\frac{m\,(g - c)}{2m}$ und aus diesem ergibt sich $\frac{g - c}{2}$.

Die Geschwindigkeit nach dem Stoße wird demnach dadurch gefunden, daß man die kleinere Geschwindigkeit von der größern abzieht, und den Rest halbirt.

Beispiel. Eine unelastische Kugel bewege sich mit einer Geschwindigkeit von 10 Fuß in einer Sekunde; ihr komme eine andere von gleicher Masse entgegen, die in einer Sekunde 12 Fuß zurücklege. Nach der Richtung von dieser werden sie nach dem Stoße gehen; aber mit welcher Geschwindigkeit? Antwort: $\frac{12 - 10}{2} = 1$ Fuß in einer Sekunde.

3) Wenn beide Kugeln gleiche Geschwindigkeiten, aber verschiedene Massen haben. Dann wird der Ausdruck $\frac{mg - kc}{m + k}$ sich in den verwandeln $\frac{mg - kg}{m + k}$ der einerlei ist mit dem $\frac{(m - k)\,g}{m + k}$.

Die Geschwindigkeit nach dem Stoße wird demnach gefunden, daß man den Rest der beiden Massen mit der Geschwindigkeit multiplicirt, und das Produkt durch die Summe der beiden Massen dividirt.

Beispiel. Eine unelastische Kugel von 5 Loth bewege sich mit 10 Fuß Geschwindigkeit in einer Sekunde; ihr komme eine andere entgegen von 8 Loth, die gleiche Geschwindigkeit hat. Nach der Richtung von dieser geht es nach dem Stoße fort; aber mit welcher Geschwindigkeit? Antwort: $\frac{(8 - 5)\,10}{8 + 5} = \frac{30}{13} = 2\frac{1}{13}$ Fuß in einer Sekunde.

4) Haben beide Kugeln gleiche Massen und gleiche Geschwindigkeiten, so werden im Stoße ihre bewegenden Kräfte, dadurch auch ihre Geschwin-

Digitized by Google

digkeiten durch die Gegenwirkung ganz aufgehoben. (Der Ausdruck $\frac{mg - kc}{m + k}$ wird Null.) Sie müssen also nach dem Stoße ruhen.

§ 68. (Gerader und centraler Stoß elastischer Körper.) Bei unelastischen Körpern hört die Wirkung des Stoßes sogleich auf, sowie sie gleiche Geschwindigkeit erlangt haben. Bei elastischen Körpern bewirkt aber der Stoß auch noch eine Zusammendrückung der Körper. Behielten sie die zusammengedrückte Gestalt bei, so wären die vorhin gefundenen Gesetze auch für elastische Körper anwendbar. Dieses ist aber nicht der Fall; denn vermöge der Elastizität stellen sie, ehe sie der Wirkung des Stoßes folgen, erst ihre Gestalt wieder her, und dieses geschieht mit einer Kraft, die vollkommen der Kraft gleich ist, mit der sie zusammengedrückt worden sind, in so fern der stoßende und der gestoßene Körper einen gleich hohen Grad von Elastizität besitzt. Die Veränderungen, die nunmehr in der Bewegung erfolgen, hängen demnach eines Theils von dem Stoße, und andern Theils von der Zurückwirkung vermöge der Elastizität ab, und eben dadurch können die Gesetze dieser Veränderungen nicht mehr einerlei seyn mit denen für den Stoß unelastischer Körper.

Elfenbein ist sehr elastisch; man entwickelt daher die Gesetze für den Stoß elastischer Körper in der Annahme, daß zwei elfenbeinere Kugeln sich senkrecht, daher auch zugleich central, stoßen, und kann sie auf folgende Weise bestimmen.

I. Wenn eine elastische Kugel auf eine andere gleich viel elastische losgeht, die in Ruhe und unbeweglich ist, so springt sie nach dem Stoße entweder mit derselben Geschwindigkeit wieder zurück, mit der sie angeprallt hat, oder sie bleibt ruhig vor der andern liegen.

Beispiel. Eine elfenbeinerne Kugel laufe gegen eine andere von gleicher materieller Beschaffenheit an, mit einer Geschwindigkeit von 12 Fuß in einer Sekunde. Ist diese andere in Ruhe und unbeweglich, so wird die anlaufende nach dem Stoße mit derselben Geschwindigkeit zurück springen, mit der sie gekommen ist, nämlich mit 42 Fuß in einer Sekunde.

II. Wenn eine elastische Kugel auf eine andere gleich viel elastische losgeht, die in Ruhe, aber beweglich ist, und beide Kugeln gleiche Massen haben, so geht nach dem Stoße die ruhende mit der Geschwindigkeit der stoßenden fort, und diese geht in Ruhe über.

III. Bewegen sich beide Kugeln nach einerlei Richtung, und hat die nachkommende mit der vorangehenden gleiche Masse, ist ihr aber an Geschwindigkeit überlegen, so wird nach dem Stoße zwar die Richtung bleiben, allein die Kugeln werden ihre Geschwindigkeiten verwechseln; die stoßende wird die Geschwindigkeit der gestoßenen, und diese die Geschwindigkeit der stoßenden bekommen. Es kann daher in diesem Falle kein wiederholtes Einholen, kein nochmaliger Stoß zwischen beiden Kugeln stattfinden.

Beispiel. Eine weiße Billardkugel werde auf eine rothe gespielt, die mit ihr gleiche Masse und gleiche Elastizität hat. Beide gehen in gleicher Richtung, die rothe voran, mit einer Geschwindigkeit von 3 Fuß, die weiße hinten her mit einer Geschwindigkeit von 4 Fuß in einer Sekunde. Holt sie die rothe ein, ehe sie zur Ruhe kommt, so geht diese nach dem Stoße mit einer Geschwindigkeit von 4 Fuß, und die weiße mit einer Geschwindigkeit von 3 Fuß in einer Sekunde nach derselben Richtung, wie vor dem Stoße, fort.

Digitized by Google

IV. Bewegen sich beide Kugeln gegen einander, und haben sie gleiche Massen, aber verschiedene Geschwindigkeiten, so prallen sie nach dem Stoß von einander zurück, verwechseln aber dabei ihre gehabten Geschwindigkeiten; die langsamere prallt mit der Geschwindigkeit der schnelleren, und diese mit der der langsameren zurück.

V. Bewegen sich beide Kugeln gegen einander, und haben sie gleich große bewegende Kräfte, so prallen sie mit der nämlichen Geschwindigkeit von einander ab, mit der sie gegen einander angelaufen sind.

VI. Wenn eine elastische Kugel auf eine andere gleich viel elastische zukommt, die in Ruhe, aber beweglich ist, und beide Kugeln verschiedene Masse haben, so findet man die Geschwindigkeit nach dem Stoße auf folgende Weise:

1) Die Geschwindigkeit der stoßenden, indem man die Masse der gestoßenen von der Masse der stoßenden abzieht, den Rest durch die Summe der Massen dividirt, und den Quotienten mit der Geschwindigkeit der stoßenden Kugel, die sie vor dem Stoße gehabt hat, multiplicirt.

2) Die Geschwindigkeit der gestoßenen, indem man die doppelte Masse der stoßenden durch die Summe der Massen dividirt, und den Quotienten ebenfalls mit der Geschwindigkeit der stoßenden Kugel, die sie vor dem Stoße gehabt hat, multiplicirt.

Beispiel. Eine elastische Kugel von 20 Loth stoße gegen eine andere ruhende von 2 Loth, mit einer Geschwindigkeit von 9 Fuß in einer Sekunde. Vorausgesetzt, daß beide Kugeln einen gleichen Grad von Elastizität besitzen, wird nach dem Stoße die Geschwindigkeit für eine Sekunde sich ergeben:

1) Die Geschwindigkeit der stoßenden

$$= \frac{20 - 2}{20 + 2} \times 9 = {}^{9}/_{11} \times 9 = 7\,{}^{1}/_{11} \text{ Fuß.}$$

2) Die Geschwindigkeit der gestoßenen

$$= \frac{2 \times 20}{20 + 2} \times 9 = {}^{20}/_{11} \times 9 = 16\,{}^{4}/_{11} \text{ Fuß.}$$

Vor dem Stoße war die bewegende Kraft $9 \times 20 = 180$. Nach dem Stoße ist diese Kraft in beiden Kugeln vertheilt. In der stoßenden ist sie $7\,{}^{1}/_{11} \times 20 = 147\,{}^{3}/_{11}$; in der gestoßenen ist sie $16\,{}^{4}/_{11} \times 2 = 32\,{}^{8}/_{11}$. Zusammen ist sie wieder 180, wie vor dem Stoße.

2. Beispiel. Wäre die Kugel von 2 Loth mit einer Geschwindigkeit von 9 Fuß in einer Sekunde gegen die Kugel von 20 Loth angelaufen, und diese die ruhende gewesen, so würde nach dem Stoße gewesen seyn:

1) Die Geschwindigkeit der stoßenden $= \frac{2 - 20}{20 + 2} \times 9 = -\,7\,{}^{1}/_{11}$ Fuß.

Das heißt: die stoßende Kugel wird nach dem Stoße mit einer Geschwindigkeit von $7\,{}^{1}/_{11}$ Fuß in einer Sekunde zurückprallen.

2) Die Geschwindigkeit der gestoßenen $= \frac{2 \times 2}{20 + 2} \times 9 = {}^{2}/_{11} \times 9$ $= 1\,{}^{7}/_{11}$ Fuß. Das heißt: die gestoßene Kugel wird nach dem Stoße mit einer Geschwindigkeit von $1\,{}^{7}/_{11}$ Fuß in einer Sekunde in der Richtung fortgehen, welche die stoßende vor dem Stoße gehabt hat.

Vor dem Stoße war die bewegende Kraft in der Richtung der stoßenden Kugel $= 2 \times 9 = 18$. Nach dem Stoße ist diese Kraft:

Für die Richtung der stoßenden Kugel $= -\,7\,{}^{1}/_{11} \times 2 = -\,14\,{}^{8}/_{11}$.

Für die Richtung der gestoßenen $= 1\,{}^{7}/_{11} \times 20 = 32\,{}^{8}/_{11}$. Beide

Digitized by Google

zusammen genommen geben wieder 18 in der Richtung, die vor dem Stoße stattfand.

3. Beispiel. Wäre die Kugel von 2 Loth mit einer Geschwindigkeit von 9 Fuß in einer Sekunde gegen eine andere ruhende angelaufen, die 100 Zentner = 320000 Loth wiege, so wäre nach der Berechnung im 2. Beispiel die Geschwindigkeit der stoßenden nach dem Stoße beinahe wieder 9 Fuß in einer Sekunde, aber nach entgegengesetzter Richtung; die gestoßene hingegen erhielte nur die geringe Geschwindigkeit $^{9}/_{160091}$ Fuß in einer Sekunde.

Ist nun die ruhende und gestoßene Masse gegen die stoßende von ganz unverhältnißmäßiger Größe, so wird jene fast gar nicht in Bewegung kommen, zumal noch andere Umstände sie daran verhindern; diese aber wird mit der Geschwindigkeit, mit der sie angelaufen ist, auch wieder zurückprallen.

Könnte man eine kleine vollkommen elastische Kugel vermittelst einer Vorrichtung auf eine ruhende unverhältnißmäßig größere und ebenfalls vollkommen elastische frei herabfallen lassen, so würde sie mit gleicher Geschwindigkeit wieder zurück springen, dann vermittelst der Schwerkraft wieder auf die größere herabfallen, und so immerfort in steter Bewegung seyn müssen. Hierdurch würde man im Besitze eines Perpetuum Mobile seyn.

VII. Bewegen sich beide Kugeln nach einerlei Richtung, und hat die nachkommende mit der größern Geschwindigkeit auch eine größere Masse, so findet man die Geschwindigkeit nach dem Stoße auf folgende Weise:

1) Die Geschwindigkeit der einholenden, indem man die Masse der eingeholten von der Masse der einholenden abzieht, den Rest mit der Geschwindigkeit der einholenden multiplicirt, hierzu die doppelte bewegende Kraft der eingeholten addirt, und diese Summe durch die Summe der Massen dividirt.

2) Die Geschwindigkeit der eingeholten, indem man ihre Masse von der Masse der einholenden abzieht, diesen Rest mit der Geschwindigkeit der eingeholten multiplicirt, dieses Produkt von der doppelt bewegenden Kraft der einholenden abzieht, und diesen Rest durch die Summe der Massen dividirt.

Beispiel. Die einholende Kugel wiege 12 Loth und habe eine Geschwindigkeit von 15 Fuß. Die eingeholte Kugel wiege 8 Loth und habe eine Geschwindigkeit von 10 Fuß. Nach dem Stoße wird seyn;

1) Die Geschwindigkeit der einholenden: $= \frac{(12-8) \times 15 + 2 \times 8 \times 10}{12 + 8}$

$= \frac{60 + 160}{20} = 11$ Fuß.

2) Die Geschwindigkeit der eingeholten: $= \frac{2 \times 12 \times 15 - (12-8) \times 10}{12 + 8}$

$= \frac{360 - 40}{20} = 16$ Fuß.

VIII. Bewegen sich beide Kugeln, deren Massen verschieden sind, gegeneinander, so wird die Geschwindigkeit nach dem Stoße gefunden, indem man wie vorhin verfährt, nur daß man die 160, die vorhin addirt worden sind, nunmehr abzieht, hingegen die 40, die vorhin abgezogen worden sind, nunmehr addirt.

Beispiel. 1) Die Geschwindigkeit der größern ist nunmehr $= \frac{(12 - 8) \times 15 - 2 \times 8 \times 10}{12 + 8} = -\frac{100}{20} = -5$ Fuß.

Digitized by Google

2) Die Geschwindigkeit der kleinern dagegen ist nunmehr:

$$\frac{2 \times 12 \times 15 + (12 - 8) \times 10}{12 + 8} = \frac{400}{20} = 20 \text{ Fuß.}$$

Beide prallen demnach zurück, die größere mit einer Geschwindigkeit von 5 Fuß, die kleinere mit einer Geschwindigkeit von 20 Fuß.

## Anhang.

Auf mathematischem Wege gelangt man zur gründlichen Einsicht dieser Gesetze auf sehr einfache Weise, weil hier die Wirkung des Stoßes und die Zurückwirkung, vermöge der Elastizität, sich so allgemein berechnen lassen, daß alle einzelnen Fälle leicht übersehen werden können. Man muß nur die Bemerkung festhalten, daß beim Stoße elastischer Körper, außer der Wirkung des Stoßes an und für sich, auch wirklich eine Zurückwirkung vermöge der Elastizität in Anschlag zu bringen ist.

Schon bei unelastischen Körpern gewinnt der eine durch den Stoß einen so großen Theil bewegender Kraft, als der andere dadurch verliert. Da aber elastische Körper ihre eingedrückte Gestalt, die eine Folge des Stoßes ist, auch sogleich wieder herstellen, so gibt dadurch jeder Körper dem andern, in so fern sie einen gleichen Grad von Elastizität besitzen, denselben Eindruck wieder zurück, den er von ihm durch den Stoß erhalten hat. Hierdurch muß auch der gewinnende Theil einen größern Gewinn, und der verlierende Theil einen größern Verlust erleiden, als wenn beide Körper unelastisch wären.

Eine Anschauung von der Vermehrung des Gewinnes und Verlustes vermöge der Elastizität kann man vermittelst einer Zeichnung (Fig. 54) bekommen. Zuerst für den Fall, wo beide Kugeln A und B sich von h nach n bewegen. Hat A die andere B erreicht, so gibt sie ihr einen Stoß nach n hin und wird dadurch zusammengedrückt. Vermöge ihrer Elastizität dehnt sie sich aber sogleich wieder aus und gibt nun B den zweiten Stoß nach n hin; hiernach muß die Geschwindigkeit der Kugel B nach n hin vergrößert werden. Weil aber B ebenfalls durch den Stoß zusammengedrückt worden ist, und denselben Grad von Elastizität wie A hat, so dehnt auch sie sich sogleich wieder aus, und gibt nun an A einen Stoß nach h hin. Da nun A einen Theil ihrer Geschwindigkeit schon durch den Stoß eingebüßt hat, so muß sie nunmehr durch den Stoß, den sie rückwärts nach h bekommt, einen zweiten Verlust erleiden, daher ihr Verlust an Geschwindigkeit nach n hin dadurch vergrößert wird.

Fig. 54.

Für den andern Fall, wo A von h nach n, und B von n nach h, also die Kugeln gegen einander gehen, tritt derselbe Umstand ein. So wie beide Kugeln zusammentreffen und sich einander stoßen, werden sie zusammengedrückt. Beide Kugeln wirken aber, indem sie ihre Gestalt wieder herstellen, noch einmal aufeinander. Hatte A vor dem Stoße eine größere bewegende Kraft als B, so wird B von A überwältigt, und muß nach dem Stoße den Rückweg nach n antreten. Weil nun A durch die Wiederausdehnung der Kugel B abermals einen Stoß nach n hin gibt, so wird dadurch die Geschwindigkeit von B nach n hin noch mehr vergrößert. Die Kugel A hingegen bekommt von B einen Stoß rückwärts nach h, und indem sich B wieder ausdehnt, einen zweiten Stoß nach h hin, wodurch

Digitized by Google

denn der Verlust, den A an Geschwindigkeit nach n hin erleidet, ebenfalls vergrößert werden muß.

Hat A die Masse m, und vor dem Stoße die Geschwindigkeit g, hat ferner B die Masse k, und vor dem Stoße die Geschwindigkeit c, und bewegen sich beide von h nach n, so kann man nun sowohl für A als für B einen Ausdruck angeben, der alle Fälle, die nach dem Stoße, den Umständen gemäß, eintreten müssen, in sich enthält, und aus sich ableiten läßt.

Wären nämlich beide Kugeln unelastisch, so würden sie nach dem Stoße eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit haben. Diese wäre $= \frac{mg + kc}{m + k}$ (§ 67).

Man berechne, wie viel Geschwindigkeit die Kugel A nach dem Stoße von ihrer Geschwindigkeit vor dem Stoße noch übrig hat. Dieser Rest ist offenbar $= g - \frac{mg + kc}{m + k} = \frac{mg + kg - mg - kc}{m + k} = \frac{kg - kc}{m + k} = \frac{(g - c)\,k}{m + k}$

Mit diesem Rest von Geschwindigkeit würde sie jetzt, wenn ihre Geschwindigkeit nach n hin ganz vernichtet wäre, wegen der Rückwirkung, die sie von B erleidet, den Rückweg nach h antreten. Man muß daher diese Rückwirkung noch von der Geschwindigkeit abziehen, die sie nach n zu hat. Der Ausdruck $\frac{mg + kc}{m + k}$ ist demnach der Minuend, und der Ausdruck $\frac{(g - c)\,k}{m + k}$ der Subtrahend. Der Ausdruck für die Subtraction ist demnach:

$$\frac{mg + kc}{m + k} - \frac{(g - c)\,k}{m + k} = \frac{mg + kc - gk + ck}{m + k} = \frac{(m - k)\,g + 2ck}{m + k}$$

Durch diesen Ausdruck kann daher die Geschwindigkeit berechnet werden, mit welcher nunmehr die Kugel A noch nach n sich bewegt.

Man berechne nun auch, um wie viel sich die Geschwindigkeit der Kugel B nach dem Stoße vergrößert, gegen ihre Geschwindigkeit vor dem Stoße. Man darf nur diese von jener abziehen, so erhält man diese Vermehrung, und offenbar ist sie demnach:

$$= \frac{mg + kc}{m + k} - c = \frac{mg + kc - cm - ck}{m + k} = \frac{mg - cm}{m + k} = \frac{(g - c)\,m}{m + k}$$

Hätte B auch keine Geschwindigkeit nach n hin, so würde sie jetzt, vermöge der Wiederausdehnung der Kugel A, mit der Geschwindigkeit $\frac{(g - c)\,m}{m + k}$ doch nach n hin gehen. Man muß daher diesen Zuwachs an Geschwindigkeit noch zu der addiren, die sie schon durch den Stoß erhalten hat. Die Addition besteht daher aus den beiden Posten $\frac{mg + kc}{m + k}$ und $\frac{(g - c)\,m}{m + k}$. Der Additions-Ausdruck ist also: $\frac{mg + kc}{m + k} + \frac{(g - c)\,m}{m + k}$

$$= \frac{mg + kc + mg - cm}{m + k} = \frac{2mg + (k - m)\,c}{m + k}$$

Durch diesen Ausdruck kann daher die Geschwindigkeit berechnet werden, mit welcher nunmehr die Kugel B nach n hin sich bewegt.

Nachdem nun diese allgemeinen Ausdrücke für die Geschwindigkeit von

Digitized by Google

A und von B nach dem Stoße, mit der Berücksichtigung der Wirkung wegen Elastizität, gefunden sind, lassen sich aus ihnen alle übrigen Gesetze ableiten.

1) Für das siebente (VII.) Gesetz bleiben die beiden Ausdrücke, so wie sie hier allgemein gefunden worden sind, unverändert.

2) Bewegt sich B nach h, und A nach n hin, so ist c in Beziehung auf g negativ. Die Geschwindigkeit von A wird daher jetzt

$$= \frac{(m - k)\ g - 2ck}{m + k}$$

und die Geschwindigkeit von B wird dagegen

$$= \frac{2mg + (m - k)\ c}{m + k}$$

Dieses war das achte (VIII.) Gesetz.

3) Im sechsten (VI.) Gesetz ist eine der beiden Kugeln als ruhend angenommen, und mehrere Beispiele sind als einzelne Fälle aufgeführt. Nimmt man B als ruhend an, so ist $c = o$. Die Geschwindigkeit von A nach dem Stoße ist daher $= \frac{(m - k)\ g}{m + k}$ und die von B ist $= \frac{2mg}{m + k}$. Dieses war das erste Beispiel.

Im zweiten Beispiel war A die ruhende, also $g = o$ Die Geschwindigkeit von A nach dem Stoße ist also $= \frac{2ck}{m+k}$. Wenn nun m unverhältnißmäßig groß gegen k ist, so gibt dieser Ausdruck einen Bruch, der selbst als Null anzusehen ist, daher A nach dem Stoße ruhend bleibt. Die Geschwindigkeit von B ist $= \frac{(k-m)\,c}{k+m}$. Und ist m gegen k unverhältnißmäßig groß, so ist $\frac{k-m}{k+m}$ von $\frac{-m}{+m}$ fast um nichts verschieden, und der Ausdruck wird nun $= -c$, daher B mit der angelaufenen Geschwindigkeit zurückprallen wird. Im dritten Beispiel hatte m gegen k eine sölche unverhältnißmäßige Größe.

4) Im fünften (V.) Gesetz ist $mg = kc$, dabei c in Beziehung auf g negativ. Die Geschwindigkeit von A nach dem Stoße ist daher: $\frac{mg - kg - 2mg}{m+k} = \frac{-kg - mg}{m+k} = \frac{-(m+k)\,g}{m+k} = -g$, daher A mit derselben Geschwindigkeit nach h zurückfährt. Die Geschwindigkeit von B ist $= \frac{2kc + (m-k)\,c}{m+k} = \frac{2kc + mc - kc}{m+k} = \frac{kc + mc}{m+k} = \frac{(m+k)\,c}{m+k} = c$, daher B mit derselben Geschwindigkeit nach n zurückfährt.

5) Im vierten (IV.) Gesetz ist $m = k$, aber c negativ in Beziehung auf g. Die Geschwindigkeit von A nach dem Stoße ist: $\frac{(m-m)\ g - 2cm}{2m}$ $= -c$, daher prallt A nach h zurück mit der Geschwindigkeit von B. Die Geschwindigkeit von B ist: $\frac{2kg + (k-k)\,c}{2k} = g$, daher prallt B nach n zurück mit der Geschwindigkeit von A.

6) Im dritten (III.) Gesetz ist $m = k$. A bekommt nun die Geschwin-

Digitized by Google

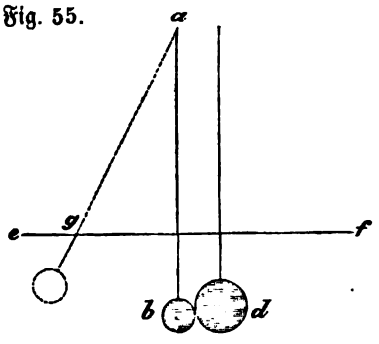
digkeit: $\frac{(m - m)\,g + 2cm}{2m} = c$. B aber bekommt die Geschwindigkeit: $\frac{2kg + (k - k)\,c}{2k} = g$.

7) Im zweiten (II.) Gesetz ist $m = k$ und $c = o$. A bekommt nun die Geschwindigkeit: $\frac{(m - m)\,g}{m + k} = o$. B aber $\frac{2kg}{2k} = g$.

8) Was das erste (I.) Gesetz betrifft, so ist dieses mit dem dritten Beispiel des sechsten Gesetzes in so fern einerlei, wenn die Masse von A gegen die von B unverhältnißmäßig groß ist. Ist aber $m = k$, so verliert zwar die anlaufende Kugel, vermöge des zweiten Gesetzes, ihre ganze Geschwindigkeit an die gestoßene, allein da diese unbeweglich ist, so kann sie keine Geschwindigkeit annehmen, und beide Kugeln bleiben nun ruhig neben einander liegen.

§ 69. (Stoßmaschinen.) Versuche, aus welchen man die Gesetze des geraden und centralen Stoßes, sowohl der unelastischen als der elastischen Körper, in der Erfahrung nachweisen kann, lassen sich einestheils schon mit Kugeln anstellen, die man auf geeignetem Boden aus freier Hand hinter einander oder gegen einander anlaufen läßt. Allein die Hand auch des geübtesten Experimentators wird nicht im Stande seyn, die Geschwindigkeiten vor dem Stoße so zu treffen, wie sie getroffen werden müssen, um diesen oder jenen Erfolg zu erhalten. Daher man diese Versuche mit eigenen Geräthschaften anstellt, die man Stoßmaschinen oder Percussionsmaschinen nennt. Der Haupttheil einer solchen Maschine (Fig. 55) bestehet in zwei Kugeln, die pendelartig so aufgehängt sind, daß sie sich in ihren Mittelpunkten einander berühren. Sie müssen daher an Fäden hängen, die gleiche Länge haben, und diese Fäden müssen zugleich auch von ziemlicher Länge seyn, weil bei kurzen Fäden kleine Winkel, die beim Aufheben der einen oder der andern Kugel entstehen, nicht mehr bemerkbar sind. Eine Skala, die auf einen Stab ef verzeichnet ist, dient dazu, die Geschwindigkeit zu bestimmen, welche die Kugel erlangt, wenn sie bis g aufgehoben, und von da aus bis zu ihrer untersten Stelle zurückschwingt.

Fig. 55.




Da es in der Natur keine völlig unelastische, so wie keine vollkommen elastische Körper gibt, so werden überhaupt alle Versuche, auch mit den vorzüglichsten Werkzeugen, nie ganz genau mit der Theorie übereinstimmen. Indessen lassen sich die Versuche über den Stoß unelastischer Körper sehr entsprechend mit Kugeln aus mäßig trocknem Mehlteig oder feinem Töpferthon anstellen, weil diese Materien nur einen äußerst geringen Grad von Elastizität besitzen. Zu Versuchen über den Stoß elastischer Körper nimmt man am liebsten elfenbeinerne Kugeln, weil Elfenbein einen so hohen Grad von Elastizität besitzt, daß die Versuche ziemlich genau mit der Berechnung zutreffen. Stellt man die Versuche dann auch

Digitized by Google

noch mit Kugeln aus Blei, Kupfer, Stahl und andern Materien an, so kann man eben hierdurch einsehen, wie sie immer weniger mit der Theorie stimmen, je geringer der Grad ihrer Elastizität ist.

Man hat auch Stoßmaschinen, wo eine Reihe elastischer gleich großer Kugeln so aufgehängt sind, daß alle ihre Mittelpunkte in einer und derselben Horizontallinie liegen. Ueberraschend ist die Erscheinung, die eine solche Maschine darstellt. Hebt man die äußerste Kugel unter einem beliebigen Winkel auf und läßt sie dann gegen die, an welcher sie gelegen, wieder zurückfallen, so bleibt die ganze Reihe unbewegt, und nur die letzte am andern Ende der Reihe springt unter demselben Winkel ab. Die Zeit, welche von dem Auffallen der aufgehobenen Kugel bis zum Absprung der Kugel am andern Ende der Reihe verfließt, ist dabei so klein, daß diese Mittheilung der Bewegung für eine geringe Anzahl von Kugeln gar nicht bemerkbar gemacht werden kann. Der Grund dieser sonderbaren Erscheinung kann aus dem ersten Gesetz für den Stoß elastischer Kugeln aufgefunden werden. Da nämlich alle Kugeln neben einander liegen, so ist jede, die gestoßen wird, durch die nächstliegende unbeweglich. Weil sie aber gleich viel elastisch sind, so stößt jede die nächstliegende in dem Augenblick wieder, in welchem sie gestoßen worden ist, bis endlich die letzte, die durch nichts mehr gehindert wird, mit derselben Geschwindigkeit sich erhebt, mit welcher die aufgehobene angeprallt ist.

Hebt man zwei Kugeln zugleich auf und läßt sie auch zugleich wieder zurückfallen, so springen in demselben Augenblick, wo die aufgehobenen auffallen, am andern Ende der Reihe ebenfalls zwei Kugeln ab; werden drei aufgehoben, springen drei, werden vier aufgehoben, springen vier ab u. s. f. Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, daß beide aufgehobene Kugeln nicht auf einmal, sondern nach einander stoßen. Durch den Stoß der zuerst auffallenden wird die letzte, und durch den sogleich darauf folgenden Stoß der nachkommenden auch die vorletzte abspringen. Derselbe Grund findet dann auch für drei und mehrere Kugeln statt.

So ist die Erscheinung, wenn alle neben einander liegenden Kugeln gleiche Massen haben. Haben sie aber verschiedene Massen, so muß die letzte der Reihe, wenn sie zugleich die kleinste ist, mit einer Geschwindigkeit abspringen, die größer ist, als die Geschwindigkeit der aufgehobenen im Augenblick des Auffallens.

Ist eine solche Kugelreihe so beschaffen, daß die folgende immer gerade nur halb so groß ist, als die, die ihr zunächst voran liegt, und man hebt die erste, welche die größte sein soll, auf, und läßt sie gegen die Reihe zurückfallen, so wird die letzte, welche die kleinste seyn soll, eine Geschwindigkeit erhalten, die sich aus dem ersten Beispiel des sechsten Gesetzes über den Stoß elastischer Kugeln leicht berechnen läßt.

Man denke zuerst zwei Kugeln, von welchen die eine halb so viel Masse hat, als die andere. Läßt man die größere mit einer Geschwindigkeit von 1 Fuß in einer Sekunde gegen die kleinere zurückfallen, so wird diese eine Geschwindigkeit bekommen, die sich zu der größern verhält, wie

$$1 : \frac{2 \times 1 \times 1}{1\frac{1}{2}} = 1 : \frac{4}{3}.$$

Lägen drei Kugeln neben einander, von denen die erste 1, die zweite $\frac{1}{2}$, die dritte $\frac{1}{4}$ Masse hätte, so müßte diese, wenn man die erste aufhebt und mit 1 Fuß Geschwindigkeit in einer Sekunde zurückfallen

Digitized by Google

läßt, eine Geschwindigkeit bekommen, die sich zu der zweiten verhält, wie $1 : \frac{2 \times 1/2 \times 1/2}{3/4} = 1 \times 1/2 \times 1/2 = 1 : (1/2)^2$.

Lägen 4 Kugeln neben einander, von denen die erste 1, die zweite $1/2$, die dritte $1/4$, die vierte $1/8$ Masse hätte, so müßte diese, wenn man die erste aufhebt und abermals, so wie angegeben, zurückfallen läßt, eine Geschwindigkeit bekommen, die sich zu der dritten verhält, wie $1 : \frac{2 \times 1/4 \times (1/2)^2}{3/8}$ $= 1 : 2 \times 1/4 \times 8/3 \times (1/2)^2 = 1 : 4/3 \times (1/2)^2 = 1 : (1/2)^3$.

Bei vier Kugeln würde daher die kleinste und letzte der Reihe schon mit einer Geschwindigkeit von $2^{10}/_{27}$ Fuß in einer Sekunde abspringen, wenn man die größte der Reihe aufhebt und mit einer Geschwindigkeit von 1 Fuß in einer Sekunde zurückfallen läßt.

Ueberhaupt aber wird für eine Reihe neben einander hängender elastischer Kugeln, von denen die folgende immer halb so groß als die ihr zunächst vorliegende ist, die Geschwindigkeit der kleinsten und letzten eine solche Potenz von $1/2$ seyn, die nur um 1 kleiner ist, als die Anzahl der Kugeln, aus welcher die Reihe besteht. Daher die Geschwindigkeit der letzten und kleinsten ungemein zunimmt, so wie die Anzahl der Kugeln eine Vermehrung erleidet. Bei einer Reihe von 100 solcher Kugeln würde die letzte und kleinste die ungeheure Geschwindigkeit von $(1/2)^{99}$, also fast $2^1/_4$ Billionen Fuß, oder über 100 Millionen Meilen in einer Sekunde erlangen, wenn die erste und größte nur mit der Geschwindigkeit von 1 Fuß in einer Sekunde gegen die Reihe zurückfällt. Eine der größten Geschwindigkeiten, die wir kennen, ist die, mit welcher sich das Licht von der Sonne bis zur Erde fortpflanzt. Diese Geschwindigkeit ist aber so groß, daß wir uns keine Vorstellung mehr von ihr zu machen vermögen, um so mehr ist die Geschwindigkeit dieser Kugel, die fast 2500mal größer als die des Lichtes ist, weit über unser Vorstellungsvermögen. Gewiß, ein Versuch mit 100 elastischen Kugeln von der angegebenen Beschaffenheit gehörte zu den interessantesten; allein um ihn auszuführen, müßte die größte der Kugeln einen viel tausendmal größern Kubikinhalt, einen fast siebenzehnmal größern Durchmesser und viel hundertmal mehr Oberfläche haben, als die ganze Erdkugel hat, wenn die kleinste dieser Kugeln auch nur einen sehr geringen Kubikinhalt und Durchmesser hätte.

§ 70. (Arithmetische Auseinandersetzung.) Obgleich der Versuch mit einer etwas beträchtlichen Kugelreihe unausführbar ist, so lassen sich doch die angegebenen Erfolge, in der Annahme, daß allemal die folgende Kugel halb so groß sey, als die ihr in der Reihe zunächst voran liegende Kugel ist, arithmetisch leicht bestimmen.

1) Geschwindigkeit der kleinsten und letzten Kugel.

Daß die Geschwindigkeiten der nach einander folgenden Kugeln eine geometrische Reihe bilden, ergibt sich einfach aus der Art, wie diese Geschwindigkeiten von Kugel zu Kugel zunehmen. Hat die erste und größte die Geschwindigkeit 1 oder $(1/2)^0$, so hat die zweite $(1/2)^1$, die dritte $(1/2)^2$, die vierte $(1/2)^3$, also die nte $(1/2)^{n-1}$. Die hundertste hat demnach $(1/2)^{99} = 99 (\log 4 - \log 3) = 12{,}3689313$. Die dazu gehörige Zahl ist über $2^1/_2$ Billionen Fuß, und diese durch die Division mit 22842 zu Meilen gemacht, gibt über 100 Millionen Meilen für die Sekunde.

Digitized by Google

### 2) Kubikinhalt der größten Kugel.

Die kleinste Kugel habe 1 Zoll Durchmesser, so ist, nach den Lehren der Geometrie, ihr Kubikinhalt $= \frac{1^3 \times 3{,}14}{6} = {}^{314}/_{600}$ Kubikzoll.

Von der kleinsten bis zur größten Kugel nimmt der Kubikinhalt nach einer geometrischen Reihe zu. Hat die kleinste $1 \times {}^{314}/_{600}$, so hat die zweite nach ihr $2 \times {}^{314}/_{600}$, die dritte $2^2 \times {}^{314}/_{600}$, die vierte $2^3 \times {}^{314}/_{600}$, also die nte $2^{n-1} \times {}^{314}/_{600}$ Kubikzoll. Die hundertste hat demnach $2^{99} \times {}^{314}/_{600}$ Kubikzoll.

Ein Kubikfuß hat aber 1728 Kubikzoll, und eine Kubikmeile hat $23642^3$ rheinische Fuß. Der Kubikinhalt der hundertsten und größten ist demnach $= \frac{2^{99} \times 314}{600 \times 1728 \times 23642^3}$ Kubikmeilen.

Der Durchmesser der Erde ist 1720 Meilen; ihr Kubikinhalt ist also $= \frac{1720^3 \times 314}{600}$ Kubikmeilen.

Der Kubikinhalt der hundertsten und größten Kugel verhält sich also zum Kubikinhalt der Erdkugel $= \frac{2^{99} \times 314}{600 \times 1728 \times 23642^3} : \frac{1720^3 \times 314}{600}$

$$= \frac{2^{99}}{1728 \times 23642^3 \times 1720^3}$$

$= 99 \log. 2 - (\log. 1728 + 3 \log. 23642 + 3 \log. 1720) = 3{,}6827885$
$= \log. 4818.$

Die hundertste Kugel hätte demnach 4818mal mehr Kubikinhalt als die ganze Erde.

### 3) Durchmesser der größten Kugel.

Nach den Lehren der Geometrie verhalten sich die Durchmesser zweier Kugeln wie die Kubikwurzeln ihres Kubikinhaltes. Demnach verhält sich der Durchmesser der größten Kugel zum Durchmesser der kleinsten, wenn dieser 1 Zoll mißt $= \sqrt[3]{2^{n-1}} \times {}^{314}/_{600} : \sqrt[3]{1} \times {}^{314}/_{600} = \sqrt[3]{2^{n-1}} : \sqrt[3]{1}$
$= \sqrt[3]{2^{n-1}} : 1.$

Nennt man den Durchmesser der hundertsten Kugel d, den Durchmesser der Erde m, so ist, da man das Verhältniß des Kubikinhaltes nunmehr kennt,

$$d : m = \sqrt[3]{4818} : 1 = 17 : 1 \text{ beinahe.}$$

Die hundertste Kugel hätte demnach einen fast 17mal größern Durchmesser als die Erde.

### 4) Oberfläche der größten Kugel.

Die Oberfläche einer Kugel wird gefunden, wenn man das Quadrat des Durchmessers mit 3,14 multiplicirt, und die Oberflächen zweier Kugeln verhalten sich wie die Quadrate ihrer Durchmesser. Die Oberfläche der hundertsten Kugel verhielte sich demnach zur Oberfläche der Erde $= 17^2 : 1^2 = 289 : 1$. Die Oberfläche der hundertsten Kugel wäre demnach 289mal größer als die Oberfläche der Erde.

§ 71. (Excentrischer und schiefer Stoß.) Liegt der Mittelpunkt der gestoßenen Masse nicht in der Bahn, in welcher die stoßende sich bewegt, so ist der Stoß excentrisch. Das Verhältniß der Massen, die Entfernung der

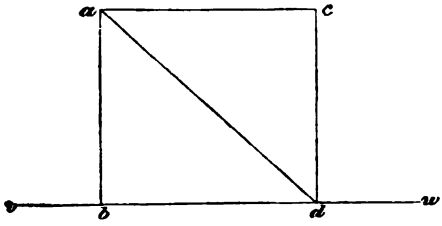


Digitized by Google

gestoßenen Stelle vom Mittelpunkte der Masse, die senkrechte oder schiefe Richtung des Stoßes und noch manche andere Umstände müssen in Betrachtung gezogen werden, um die Gesetze über den Erfolg dieses Stoßes bestimmen zu können. Immer ist aber der Erfolg so, daß der gestoßene und auch der stoßende Körper um den Mittelpunkt ihrer Massen sich zu drehen beginnen, wenn anders kein Hinderniß da ist, das dieser Bewegung sich entgegensetzt. Dieser Erfolg erstreckt sich sogar auf Körper, die in der Entfernung, vermittelst unsichtbarer Anziehungskräfte, auf einander wirken; alle drehen sich dann um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt, und nicht bloß einer von ihnen allein. So drehet sich die Erde und der Mond um einen solchen Punkt, und um den Mittelpunkt des ganzen Sonnensystems drehen sich die Planeten und auch die Sonne selbst.

(Schiefer Stoß.) Bei dem senkrechten Stoße wirkt der stoßende Körper mit seiner ganzen bewegenden Kraft auf den gestoßenen, bei dem schiefen Stoße geht aber ein Theil der Stoßkraft verloren. Durch die Zerlegung der Kräfte kann der noch übrigbleibende wirksame Theil gefunden und die Richtung bestimmt werden, nach welcher der gestoßene Körper nach dem Stoße fortgehen muß. Von dieser Betrachtung geht man in der mathematischen Bestimmung des Erfolges für die mannigfachen Arten des Stoßes, sowohl der unelastischen als der elastischen Körper aus.

Fig. 26.




Stellt ad (Fig. 26) die Richtung eines schiefen Stoßes gegen die Wand bd vor, so läßt er sich in der Kraft ab und ac zerlegen; diese, die mit der Wand gleichlaufend ist, geht von dem schiefen Stoße verloren, und nur jene, die senkrecht auf die Wand ist, bleibt als wirksamer Theil zurück. Nach der trigonometrischen Formel (§ 40) kann man ihn berechnen.

§ 72. (Stoß weicher Körper.) Die Gesetze des Stoßes, die für harte unelastische Körper gelten, sind auch auf weiche Körper anzuwenden. Weil aber diese durch den Stoß zugleich auch zusammengedrückt werden und ihre Gestalt verändern, dabei aber, aus Mangel an Elastizität, den Eindruck nicht wieder zurück geben, so wird ein Theil der Stoßkraft auf diese Zusammendrückung verwendet, und nur der übrigbleibende Theil theilt dem gestoßenen Körper Bewegung mit. Je weicher einer der Körper ist, oder je weicher beide sind, desto größer wird der Theil werden, der von der Stoßkraft verloren geht. Beide, oder einer der Körper kann so weich seyn, daß die ganze Stoßkraft auf die Zusammendrückung und Gestaltveränderung verwandt wird, und für den Körper im Ganzen keine Mittheilung von Bewegung erfolgen kann.

§ 73. (Stoß auf unbewegliche Flächen.) 1) Wenn eine harte unelastische Kugel auf eine unelastische und unbewegliche Fläche senkrecht stößt, so muß sie nach dem Stoße ruhen. Es walten hier dieselben Umstände vor, von denen in dem zweiten Falle des dritten Gesetzes beim senkrechten Stoße die Rede war (§ 67).

Stößt sie schief gegen die Fläche, so wird sie nach dem Stoße längs der Fläche sich bewegen, wenn sie nicht durch andere Hindernisse davon

Digitized by Google

abgehalten wird. Die Zerlegung der Kräfte macht dieses Gesetz klar. Stellt (Fig. 26) vw eine solche Fläche dar, gegen welche eine Kugel in der Richtung ad anstößt, so läßt sich diese in zwei Kräfte zerlegen, von denen die eine in der Richtung ab, und die andere in der Richtung ac wirke. Die senkrechte Richtung ab wird von der Fläche aufgehoben, und nur ac bleibt wirksam. Da nun ac gleichlaufend ist mit bd, so bewegt sich die Kugel nach dem Stoße längs dieser Fläche hin.

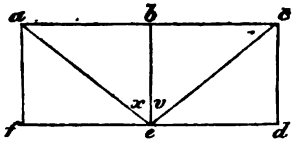
2) Wenn eine elastische Kugel auf eine unelastische unbewegliche Fläche senkrecht stößt, so wird sie nach der entgegengesetzten Richtung mit derselben Geschwindigkeit zurückgeworfen (reflectirt), mit welcher sie angelaufen ist. Denn vermöge des Stoßes würde die Kugel, wenn sie unelastisch wäre, nach dem Stoße ruhen müssen; nunmehr aber, da sie elastisch ist, tritt der Fall ein, von dem bereits weiter oben in Beziehung auf die Kugel A die Rede war.

Ist der Fall umgekehrt, stößt eine unelastische Kugel auf eine elastische unbewegliche Fläche, so muß doch, wegen der Zurückwirkung der Fläche, der Erfolg ganz so wie vorhin seyn, und die Kugel mit derselben Geschwindigkeit reflectirt werden, mit der sie gegen die Fläche anlief. Daher auch Hammerschläge, die senkrecht gegen eine elastische Fläche geführt werden, leicht zu unterhalten sind, so wie nur der erste Schlag die Fläche getroffen hat.

Stößt die Kugel schief gegen die Fläche, so wird sie unter demselben Winkel reflectirt, unter welchem sie gegen die Fläche angelaufen ist. Dieses Gesetz wird gewöhnlich so ausgedrückt: Der Reflectionswinkel ist immer dem Einfallswinkel gleich.

Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich ebenfalls durch die Zerlegung der Kräfte darthun. Man stelle sich unter fd (Fig. 56) eine unelastische unbewegliche Fläche vor, gegen die eine elastische Kugel in dem Punkt e nach der schiefen Richtung ae anstößt. Die Bewegung, welche die Kugel nach dem Stoße erlangt, kann betrachtet werden, als sey sie entstanden aus einer Kraft, die in der Richtung af, und aus einer andern, die in der Richtung ab wirke. Vermittelst der Kraft nach af würde die Kugel wieder von f nach a, oder, was dasselbe ist, von e nach b reflectirt werden. Allein die Kraft ab würde die Kugel längs der Fläche von e nach d treiben. Die Kugel wird daher nach dem Stoße von zwei zusammengesetzten Kräften getrieben, von der einen nach eb, von der andern nach ed, und geht nun nach der Diagonale ec. Weil nun der Triangel aeb dem Triangel ceb congruent ist (ab = bc; eb = eb; abe = cbe), so muß auch der Winkel v (Reflectionswinkel, Zurückprallwinkel) dem Winkel x (Einfallswinkel) gleich seyn.

Fig. 56.




Auch das mehrmalige Abspringen eines flachen Steines, den man unter einem sehr spitzen Winkel auf eine Wasserfläche wirft, geschieht unter Reflectionswinkeln, die dem Einfallswinkel gleich sind. Noch deutlicher kann man es wahrnehmen, wenn man eine elfenbeinerne Kugel schief gegen eine Marmorplatte anlaufen läßt.

3) Stößt ein harter Körper gegen eine weiche unbewegliche Fläche, so bringt er in die Fläche ein, und es entsteht ein mehr oder minder tiefes Loch. Da die weiche Masse dem eindringenden Körper einen immer



Digitized by Google

gleich großen Widerstand leistet, so wird seine Bewegung im Eindringen gleichförmig verzögert, daher die Tiefen der Löcher sich verhalten wie das Quadrat der Geschwindigkeit.

Fällt derselbe Körper mit einer noch einmal so großen Geschwindigkeit auf diese Fläche, so macht er ein viermal, ist seine Geschwindigkeit dreimal so groß, so macht er ein neunmal tieferes Loch. Die Tiefen der Löcher verhalten sich aber auch wie die Fallhöhen; derselbe Körper, der zwölf Fuß hoch herabfällt, macht daher ein noch einmal so tiefes Loch, als wenn er sechs Fuß hoch herabgefallen wäre. Je tiefer aber der harte Körper in die weiche Masse eindringt, desto mehr wird diese zusammengedrückt. Dadurch nimmt denn auch ihr Widerstand immer mehr zu, und der eindringende Körper verliert so nach und nach seine ganze Kraft.

4) Wenn ein harter Körper gegen eine harte Fläche stößt, so pflanzt sich der Stoß durch eine Reihe einzelner Flächen fort, die einander berühren. Ist die Cohäsion dieser Flächentheile zu schwach, den Erschütterungen des Stoßes zu widerstehen, so werden mehr oder minder große Stücke von der Fläche getrennt, abgerissen und weggeschleudert werden. Hierauf gründet sich die Methode, Felsen auf eine Art zu sprengen, die bequem und die gefahrloseste ist. Eine Oeffnung, die man in den Felsen gebohrt hat, wird theilweise mit Pulver gefüllt, und dieses lose mit Sand bedeckt. Ehe der Sand aufgeschüttet wird, legt man auf das Pulver in der Oeffnung einen Strohhalm, der ebenfalls mit Pulver gefüllt ist, und dessen anderes Ende aus der Oeffnung hervorsteht. Wird dieses Ende durch eine Lunte angezündet, so bekommen die Felsenwände durch den losen Sand, bei der Entzündung des Pulvers so heftige Stöße, daß sie bis zu einer gewissen Stelle hin ihre Cohäsion verlieren und losgetrennt werden können. Dieses merkwürdige Phänomen wird von Einigen das Sandparadoxon genannt. (§ 15.)

§ 74. (Stoß flüssiger Körper.) Flüssige Körper können ebenfalls einander stoßen, sie können feste Körper stoßen und von diesen gestoßen werden. Die Betrachtungen über den Erfolg dieses Stoßes sind bei weitem schwieriger, als die über den Stoß der festen Körper unter sich, und sind noch gar nicht einmal völlig ausgemittelt. Ein flüssiger Körper, der stößt oder gestoßen wird, verändert seine Gestalt und wird zugleich zertheilt. Bleibt ihm alsdann noch ein hinlänglicher Theil bewegender Kraft übrig, so kann er allerdings andern Körpern Bewegung mittheilen, wie dieses an Wasser- und Windmühlen sich zeigt.

---

## Sechstes Kapitel.

### Gleichgewicht fester Körper.

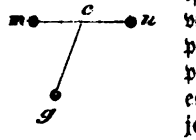
§ 75. (Schwerpunkt.) In jedem festen Körper gibt es allemal einen Punkt, der eine solche Lage hat, daß nur er unterstützt zu seyn braucht, um den ganzen Körper vor dem Falle zu bewahren. Dieser Punkt wird der Schwerpunkt, der Mittelpunkt der Schwere genannt. Weil dem so ist, so kann man sich vorstellen, daß der Druck, den alle schwere Theile des Körpers auf die Unterlage ausüben, mithin des Körpers ganzes Gewicht, in dem Schwerpunkte sich vereinige, und Alles um ihn her

Digitized by Google

muß dann in das Gleichgewicht treten, sobald er hinlänglich unterstützt ist. Ist der Körper vollkommen regelmäßig, aus einer durchaus gleichartigen Materie gebildet und an allen Stellen gleich dicht, so liegt der Schwerpunkt offenbar in der Mitte desselben. Bei vielen Körpern kann man sich hiervon schon durch das Gefühl überzeugen. Ein Buch, ein Kartenblatt, eine Schreibtafel und viele andere platte Körper lassen sich in ihrem Schwerpunkte auf der Fingerspitze tragen; man empfindet dann wohl, daß es nicht der Druck dieses einzigen Punktes ist, den der Finger auszuhalten hat, und daß eigentlich das ganze Gewicht des Körpers von ihm getragen werden muß.

Daß aber jeder feste Körper nur Einen Schwerpunkt und nicht mehr habe, ergibt sich aus folgender Betrachtung: Ein jeder feste Körper kann so betrachtet werden, als bestehe er aus einer zahllosen Menge einzelner Körpertheilchen, die vermittelst der Cohäsion miteinander verbunden sind. Wie zwei Punkte durch eine gerade Linie mit einander verbunden werden, so kann man sich auch die Verbindung von zwei und zwei dieser Körpertheilchen, die man als gleich große materielle Punkte annimmt, durch gerade immaterielle Linien vorstellen. Für zwei Körpertheilchen, m und n, liegt daher der gemeinschaftliche Schwerpunkt genau in der Mitte c der immateriellen Linie mn (Fig. 57). Ist c unterstützt, so ist Alles im Gleichgewicht, und c hat das ganze Gewicht von m und n zu tragen. Kommt noch ein drittes Körpertheilchen g hinzu, so ist dieses mit dem vorigen Schwerpunkte c durch die immaterielle Linie gc verbunden, und es läßt sich nun in dieser Linie ein Punkt angeben, der jetzt ein gemeinschaftlicher Schwerpunkt zwischen c und g, mithin auch der gemeinschaftliche Schwerpunkt zwischen den drei Körpertheilchen m, n und g ist. Da sich diese Betrachtung weiter fortsetzen läßt, so sieht man, daß zuletzt ein Schwerpunkt zum Vorschein kommen muß, welcher der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller Körpertheilchen, mithin des ganzen Körpers ist. Ist dieser Punkt hinreichend unterstützt, so ist Alles im Gleichgewicht, und die Unterstützung, auf der er ruht, hat das Gewicht des ganzen Körpers zu tragen. So kann man sich durch den gemeinschaftlichen Schwerpunkt in einem jeden Körper eine immaterielle gerade Linie denken, die ihre Unterstützung im Schwerpunkte hat, der dann alle Massetheile des Körpers trägt. Sind diese dies- und jenseits ihres gemeinschaftlichen Schwerpunktes völlig gleichförmig verbreitet, so liegt der gemeinschaftliche Schwerpunkt in der Mitte dieser Linie, der bei manchen Körpern, z. B. bei der Kugel, zugleich mit der Mitte des Körpers zusammenfällt. Bei einem überall gleich dicken und gleich dichten Cylinder und geraden Prisma liegt er in der Mitte der Achse. Bei einem Kegel von dieser Beschaffenheit liegt er auch in der Achse, aber nicht in der Mitte, sondern dreimal weiter von der Spitze als von der Grundfläche entfernt; eben so bei der Pyramide. Bei Ringen, Reifen, hohlen Körpern, liegt er außerhalb dem Körper.

Fig. 57.




Flüssige Massen können, wegen ihrer sehr geringen Cohäsion, nur in der Voraussetzung einen Schwerpunkt haben, wenn sie in irgend einem Behälter gesperrt sind.

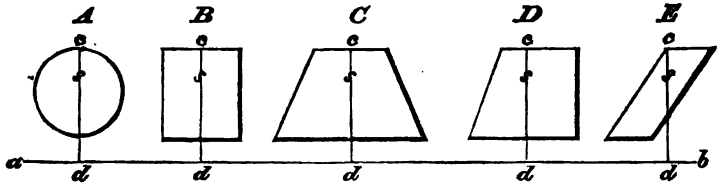
Da die Richtung des Falles senkrecht ist, so muß auch der Schwerpunkt eines Körpers senkrecht unterstützt seyn, wenn der Körper, durch die Unterstützung des Schwerpunktes, gegen den Fall geschützt seyn soll.

Digitized by Google

Iſt aber die Richtung der Unterſtützungslinie ſchief gegen die Richtung des Falles, ſo kann ſie den Körper nicht halten; er fällt, und fällt dann allemal, wenn er durch ſonſt nichts daran verhindert wird, nach der Seite hin, wohin ſein Schwerpunkt liegt.

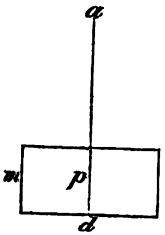
Indeſſen iſt die unmittelbare Unterſtützung des Schwerpunktes ſelbſt keineswegs erforderlich, der Körper iſt auch ſchon dann gehörig unterſtützt, wenn irgend ein Punkt, der mit dem Schwerpunkte in lothrechter Linie liegt, eine Unterſtützung hat. Eine Kugel, deren Schwerpunkt in ihrem Mittelpunkte liegt, iſt ſchon gehörig unterſtützt, wenn ein Punkt auf der Oberfläche es iſt, der mit dem Schwerpunkte der Kugel in derſelben Richtung liegt, in welcher die Schwerkraft auf ſie wirkt. Durch dieſe Unterſtützung wird das Fallen des Schwerpunktes, mithin auch das Fallen des ganzen Körpers eben ſo gut verhindert, als ob die Unterſtützung unmittelbar in dem Schwerpunkte ſelbſt angebracht wäre. Die Linie, die von einem Punkte auf der Oberfläche des Körpers durch den Schwerpunkt ſenkrecht auf die Horizontallinie geht, gegen welche der Körper frei fallen würde, nennt man die Directions- oder die Richtungslinie der Schwere. Fällt die Unterſtützungslinie mit der Richtungslinie der Schwere in eine einzige gerade Linie zuſammen, ſo wird der Körper im Gleichgewicht erhalten und kann nicht fallen; iſt dieſes nicht der Fall, ſo fällt er, ohne beſondere Abhaltungen, nach der Seite hin, wo die Directionslinie ſich befindet. Bezeichnet (Fig. 58) s den Schwerpunkt der Kör-

Fig. 58.




per A, B, C, D, E und iſt cd ſenkrecht auf ab, ſo iſt cd die Directionslinie der Schwere. Das Gleichgewicht iſt indifferent, wenn der Körper durch ſeine Unterſtützung in jeder beliebigen Lage in Ruhe bleibt; es iſt ſtabil, wenn er nur in einer beſtimmten Lage ruhet, und auch allemal zu dieſer zurückgeht, wenn ſie in etwas verändert wird; es iſt aber labil (ſchwach), wenn die geringſte Veränderung ihn nicht mehr in ſeine vorige Lage zurückbringt.

Fig. 59.




In einem Körper (Fig. 59) kann aber der unterſtützte Punkt in der Richtungslinie der Schwere dreierlei Lagen haben.

1) In dem Schwerpunkte ſelbſt, in p. In dieſem Falle läßt ſich der Körper um dieſen Punkt nach Gefallen drehen, bleibt aber in jeder Lage ruhig.

2) Ueber dem Schwerpunkte, in a. In dieſem Falle iſt der Körper hängend. Bringt man ihn aus der Lage, in welcher er lothrecht hängt und in Ruhe iſt, heraus, ſo ſteigt ſein Schwerpunkt, und nun ſchwingt des Körper pendelartig ſo lange hin und her, bis er ſich von ſelbſt wieder in ſeine lothrechte Lage verſetzt hat, und ſein Schwerpunkt wieder am tiefſten liegt.

Digitized by Google

3) Unter dem Schwerpunkte, in d. Alsdann steht der Körper. Gibt man ihm nun eine Lage, in welcher der Schwerpunkt p höher hinauf steigt, so fällt er, so lange dieses noch geschehen kann, von selbst wieder in die Lage zurück, in welcher der Schwerpunkt am tiefsten liegt, und kann er diese Lage nicht mehr erreichen, so schlägt er um.

Hieraus folgt, daß der Schwerpunkt eines Körpers immer die tiefste Stelle behauptet, die er zu finden vermag, und daß kein Gleichgewicht eintreten kann, so lange der Schwerpunkt eine noch tiefer liegende Stelle erreichen kann.

In der Wirklichkeit wird eine Unterstützung, die unter dem Schwerpunkte liegt, den Körper nur unter der Bedingung in Ruhe erhalten, daß auch nicht die allergeringste Abweichung zwischen der Directionslinie der Schwere und der Unterstützungslinie stattfindet. Das mindeste Wanken wird den Körper schon zum Fallen bringen. Wo es also darauf ankommt, daß ein Körper einen bleibenden festen Stand behalten soll, muß eine Fläche unterstützt seyn, die groß genug ist, daß bei einem bedeutenden Wanken dennoch der Schwerpunkt nicht außerhalb dieser Fläche fallen kann. Durchaus braucht indessen die Fläche nicht unterstützt zu seyn, und es ist schon hinreichend genug, wenn drei Punkte, die aber nicht in einer einzigen geraden Linie liegen, sondern, mit einander durch gerade Linien verbunden, ein Dreieck bilden, in welchem die Directionslinie der Schwere liegt, gehörig unterstützt sind. Indessen muß eben darum der Stand eines Körpers desto fester seyn, je größer die unterstützte Fläche ist, in welcher die Directionslinie der Schwere liegt, und je näher der Schwerpunkt der Grundfläche rückt, über welcher er sich befindet.

Aendert ein Körper seine Gestalt oder seine Dichtigkeit, oder wird ein anderer Körper mit ihm so in Verbindung gebracht, daß er diesen mittragen muß, so wird dadurch auch die Lage des Schwerpunktes verändert, und nach einer andern Stelle verrückt. Ueberhaupt hängt die Auffindung des Schwerpunktes für einen jeden Körper insbesondere von der mehr oder minder regelmäßigen Gestalt, von der gleichförmigen oder ungleichförmigen Dichtigkeit, so wie davon ab, ob der Körper hohl oder massiv, aus einerlei oder verschiedenen Materien bestehe. In allen diesen Fällen läßt er sich theils mechanisch, theils durch Rechnung bestimmen.

§ 76. (Erläuternde Nachweisungen.) Aus der Lehre von dem Schwerpunkte lassen sich nun allerlei Erscheinungen erklären:

1) Vierfüßige Thiere stehen fester als zweifüßige; Geräthschaften mit vier Füßen stehen fester, als auf einem Fuße, der im Schwerpunkt angebracht ist; mit auseinander gespreizten Beinen steht man fester, als mit eng zusammengestellten; auch mit gebogenen Knieen steht man fester, als mit ganz gerade gestreckten Beinen, wie Jeder weiß, der die Fechtkunst versteht, und Jeder von selbst thut, wenn er in schwankender Bewegung sich befindet. Tanzmeister und Leute, die sich gern zieren, setzen die Füße auswärts, wenn sie über die Straße gehen; sie übermäßig auswärts richten, fällt in das Lächerliche, aber mit Mäßigkeit trägt es allerdings zur festern Stellung bei.

2) Das Gehen des Menschen. Steht der Mensch in aufrechter Stellung, so liegt sein Schwerpunkt senkrecht über der Grundfläche, auf welcher er steht, zwischen den Hüften, in der Mitte des Unterleibes. Die Directionslinie seiner Schwere fällt dann zwischen seine Füße. In dieser Stellung kann er sich auch vorwärts, rückwärts, rechts und links neigen,

Digitized by Google

ohne zu fallen, und kann es um desto mehr, je mehr seine Füße nach der Richtung, wohin er sich neigt, auseinander rücken. Ueberhaupt wird er so lange nicht umfallen, so lange die Directionslinie seiner Schwere auf die Grundfläche trifft, auf welcher er steht. Fängt er aber an zu gehen, so wird, indem er den einen Fuß aufhebt, sein Leib vorwärts bewegt, und die Directionslinie der Schwere fällt nun außer der Fläche, auf welcher er steht. Der Mensch kann aber so nicht stehen, und müßte nun umfallen. Bloß dadurch, daß er dieser Bewegung keine Zeit zur Ausführung läßt, dadurch also, daß er mit dem andern Fuße schnell nachrückt, erhält sich die Directionslinie der Schwere innerhalb der Standfläche, und darum auch fällt er nicht um. Unter sonst gleichen Umständen kann darum auch ein schnell fahrender Wagen nicht so leicht umstürzen, als einer, der langsam fährt.

Ueberhaupt kommt es bei allen Stellungen und Lagen, die man dem Körper gibt, immer darauf an, die Richtungslinie der Schwere zwischen den Füßen zu erhalten, und eine möglichst große Standfläche zu haben. Besteigt man einen Berg, so wird der Körper gegen den Horizont geneigt, und die Richtungslinie der Schwere mehr nach den Ferſen zu gerichtet, um so mehr, je steiler der Berg ist. Um sie zwischen den Füßen zu erhalten, muß man sich dann nach Maßgabe vorwärts beugen, oder gar, wenn der Berg sehr steil ist, noch die Hände zu Hülfe nehmen. Bergab tritt der umgekehrte Fall ein; die Richtungslinie der Schwere fällt dann weiter vor die Füße hin, und man muß nunmehr den Körper mehr oder weniger rückwärts beugen. Je senkrechter ein Bergrücken ist, desto größer wird die Gefahr, herab zu stürzen, da das Rückwärtshalten seine Gränzen hat. Entweder muß man dann hinab rutschen, oder durch künstliche Mittel sich zu schützen wissen.

Trägt man eine Last, so macht diese mit dem Körper nur einen Körper aus, und der Schwerpunkt wird nun aus der Mitte des Unterleibes näher nach der Gegend hin gerückt, wo die Last ist. Daher beugt man sich zurück, wenn man die Last vor sich trägt, und trägt man sie auf dem Rücken, so hängt man den Körper vor. Ruht die Last auf der einen Hand oder der Schulter, so muß man den Körper mehr nach der entgegengesetzten Seite zu neigen. Dicke Leute müssen daher auch ihren Körper gerader halten, als magere, und Menschen mit gekrümmten Rücken bedürfen eines Stockes, um ihre Standfläche zu vergrößern. In allen diesen Vorfällen ist die Natur unsere Lehrerin, und schon das Kind, das eben anfängt, seine Füße zu gebrauchen, unterrichtet sie durch das Gefühl.

Die verschiedenen Bewegungen, die man mit den Armen macht, wenn man im Begriff ist, zu fallen, das sogenannte Balanciren, ist ebenfalls ein Mittel zur Erhaltung der Directionslinie der Schwere in der Lage, die sie naturgemäß haben muß. Die Seiltänzer müssen, bei der Ausübung ihrer gefährlichen Kunst, davon Gebrauch machen; ihre Balancirstangen sind darum sehr lang und an den Enden mit Blei ausgegossen; ohne diese Stange ist die Erhaltung des Körpers auf einer so schmalen Fläche noch künstlicher, aber auch viel gefährlicher.

Sitzt man auf einem Stuhle so, daß der Rumpf senkrecht, die Schenkel horizontal und die Beine wieder senkrecht sind, so wird man in dieser Lage nicht im Stande seyn, von seinem Sitze aufzustehen, weil jetzt die Directionslinie der Schwere nicht mehr ihre rechte Lage hat. Will man aufstehen, so muß man den Rumpf etwas vorneigen und die Beine etwas zurückziehen.

Digitized by Google

Stellt man Jemand mit einer Seite an die Wand, so, daß er sie vom Fuße bis über die Hüfte überall berührt, so ist er in dieser Stellung nicht im Stande, das andere und freie Bein nur im mindesten zu erheben; er fühlt es, daß in dem Augenblick, wo er es thun würde, er auch umfallen müßte, weil die Standfläche weg ist, auf welche die Directionslinie seiner Schwere fallen muß. So kann auch Niemand, ohne die Kniee zu beugen, oder sich mit der Hand zu halten, dasjenige aufheben, was vor seinen Füßen liegt, wenn er, mit dem Rücken an eine Wand gelehnt, so steht, daß seine Ferſen die Wand berühren.

3) Das Balanciren eines Stockes auf dem Finger. Auf einem ruhenden Finger bleibt kein Stock stehen, weil die Richtungslinie seiner Schwere über den Finger hinaus fällt. Wird aber der Finger hin und her bewegt, so wird dadurch die Richtungslinie immer nach der Gegend hin unterstützt, nach welcher der Stock fallen will, und so kann man ihn eine Zeitlang auf dem Finger balancirend erhalten. Leichte und kurze Körper, z. B. eine Stecknadel, eine Schreibfeder, auf dem Finger balanciren zu lassen, ist eine viel größere Kunst, fast unmöglich, weil man bei ihnen nicht so leicht durch das Gefühl wahrnehmen kann, nach welcher Seite zu sie fallen wollen, und sie überhaupt auch in einem kleinern Bogen fallen, daher weniger Zeit dazu gebrauchen.

4) Die schiefen Thürme. Zu Pisa und Bologna, und auch anderwärts, sieht man schief stehende Thürme. Der zu Pisa ist 300 Fuß hoch und hat 12 Fuß Ueberhang, der zu Bologna ist 130 Fuß hoch und hat 9 Fuß Ueberhang. Dennoch fallen sie nicht um, weil sie so gebaut sind, daß die Richtungslinie ihrer Schwere noch immer auf ihre Grundfläche trifft. So fällt auch eine schief stehende Säule nicht um, so lange die Richtungslinie ihrer Schwere noch auf die Grundfläche fällt. Bleibt die Grundfläche, und die Säule wird höher, so rückt auch der Schwerpunkt hinauf, und er kann endlich so zu liegen kommen, daß die Richtungslinie nicht mehr auf die Grundfläche trifft, dann muß sie umfallen.

5) Daß kein Körper auf einer schiefen Ebene ruhig bleiben kann, ist aus der Lage der Directionslinie der Schwere, die hier von der Unterstützungsfläche sich wegneigt, leicht einzusehen. Legt man aber eine Scheibe von Pappe, die an einer Stelle ihrer gekrümmten Seitenfläche etwas Blei enthält, mit dieser Seitenfläche so auf eine schiefe Ebene, daß der schwerere Theil hinauf zu liegt, so rollt die Scheibe ein Stück auf die schiefe Ebene hinauf, weil ihr Schwerpunkt dorthin zu fällt.

Ein doppelter Kegel, der auf zwei Leisten liegt, die unter einem spitzen Winkel zusammen laufen, rollt von dem spitzen Winkel nach dem breitern Ende hin. Wer dieses mit ansieht, könnte glauben, der Kegel rolle eine schiefe Ebene hinauf. Dieses ist aber nur Schein, denn in der That sinkt sein Schwerpunkt immer tiefer, je weiter er in die Oeffnung der Leisten hinein kommt.

6) Das einfache Purzelmännchen, welches von der obern Stufe einer dazu gehörigen Treppe sich regelmäßig überschlägt und herunter purzelt, und die doppelten Purzelmännchen, die an zwei Stangen befestigt sind, und sich über einen Treppengang wechselseitig über einander wegheben, sind artige Kinderspiele von sinnreicher Einrichtung. Das einfache hat Queckſilber im Leibe, die doppelten haben solches in der Stange. Durch das Hin- und Herrollen des Queckſilbers wird der Schwerpunkt nach der Lage der Figuren verrückt, darauf gründet sich ihr lustiges Spiel. Wer sie einmal gesehen hat, lernt ihre Einrichtung bald verstehen.

Digitized by Google

Die Einrichtung der kleinen Männchen aus Hollundermark, die unten Blei haben, und von selbst aufstehen, die Einrichtung der kleinen Sägemännchen und Seiltänzer wird Jedem, der mit der Lehre vom Schwerpunkte bekannt ist, erklärlich seyn, sobald er diese Spielzeuge vor Augen hat.

7) Die Rollampe des Cardanus. Diese Lampe hängt in einem Kugelgerippe, so, daß sie beim Fortrollen ihre lothrechte Stellung behalten kann, daher im Rollen nicht erlischt. Aehnliche Bewandtniß hat es mit dem schwimmenden Licht, welches bei der Rettung von Menschen gebraucht wird, die Nachts über Bord gefallen sind.

§ 77. (Hebel.) Alle Maschinen, auch dann, wenn sie noch so sehr zusammengesetzt sind, lassen sich auf die Wirkung von sechs Maschinen zurückführen, die eben darum den Namen einfache Maschinen führen. Diese sechs Maschinen sind: die schiefe Ebene, die Schraube, der Keil, der Hebel, die Rolle, die Radwelle. In den ersten Betrachtungen, die man über die Wirkungen dieser Maschinen anstellt, pflegt man ihre materielle Beschaffenheit noch unberücksichtigt zu lassen, und gibt ihnen dann den Namen mechanische Potenzen. Ueberhaupt aber bezeichnet man mit dem Worte Maschine jede Veranstaltung, durch die sich mit möglichster Benutzung der Kraft, oder Ersparniß von Zeit Bewegungen hervorbringen lassen. Die sechs einfachen Maschinen lassen sich aber selbst wieder auf die schiefe Ebene und den Hebel zurückführen, diese nennt man daher die Elemente der Maschinen. Die schiefe Ebene (§ 62.) und der Hebel nehmen theilweise bei physikalischen Untersuchungen noch Platz, die übrigen aber gehören ganz in das Gebiet der eigentlichen Mechanik, die gegenwärtig eine selbstständige und weitläufige Wissenschaft bildet.

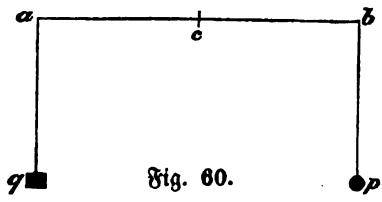


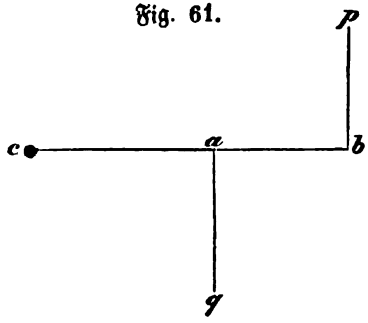
Fig. 60.

Eine jede unbiegsame Linie ab (Fig. 60), die an irgend einem Punkte c unterstützt ist, so, daß sie sich um diesen Punkt drehen läßt, wird ein Hebel genannt.

Wie beim Pendel, und aus demselben Grunde, unterscheidet man den ideellen oder mathematischen Hebel von dem wirklichen oder physischen Hebel. Bei jenem denkt man sich die Linie ab ohne alle Schwere, völlig unbiegsam, überhaupt ohne materielle Beschaffenheit; bei diesem hat aber die Linie ab ihre materiellen Beschaffenheiten, die noch Nebeneinfluß auf die Wirkung des Hebels haben können. Den unterstützten Punkt nennt man den Ruhepunkt, auch den Bewegungspunkt; die Unterstützung selbst heißt die Unterlage, das Hypomochlion, und die Theile des Hebels, ac und cb, dies- und jenseits des Ruhepunkts, nennt man seine Arme. Von den zwei Kräften, p und q, die an dem Hebel wirken, und die in der Zeichnung so vorgestellt sind, als ob sie daran hingen, pflegt man die eine, die durch den Hebel bewegt werden soll, gewöhnlich die Last, und die andere, durch welche dieses geschehen soll, die Kraft zu nennen. Sind die beiden Kräfte an zwei entgegengesetzten Seiten des Ruhepunktes (Fig. 60), dieser also irgendwo innerhalb des Hebels, so nennt man ihn einen Hebel der ersten Art oder zweiarmigen Hebel. Liegt aber der Ruhepunkt c am Ende des Hebels (Fig. 61), so befinden sich beide Kräfte auf einer Seite, und der Hebel wird nun ein Hebel der zweiten Art oder einarmiger Hebel

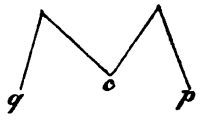
Digitized by Google

Fig. 61.




genannt. Da es nicht geradezu nothwendig ist, daß der Hebel eine gerade Linie vorstellt, so gibt es auch noch andere Arten von Hebeln, solche, die auf verschiedene Weise gekrümmt seyn können, und andere, deren Arme einen Winkel einschließen (Fig. 62). Letztere

Fig. 62.




werden Winkelhebel genannt.

§ 78. (Zweiarmiger Hebel.) Zu welcher Art auch ein Hebel gehören mag, darin kommen sie alle überein, daß irgend ein Punkt unbeweglich seyn muß, und diese Uebereinstimmung macht es möglich, die Gesetze einer Hebelart auch auf die übrigen Arten in Anwendung zu bringen. Geht man von dem zweiarmigen Hebel aus, denkt sich solchen als völlig unbiegsam und dessen Hypomochlion fest genug, um ihn gegen den Fall zu sichern, so ist klar, daß der Hebel bloß auf- und abwärts sich bewegen kann. Des festen Punktes wegen müssen aber beide Arme auf eine entgegengesetzte Weise sich bewegen; steigt cb, muß ac sinken, steigt dieser, muß jener sinken.

Hat nun ein gerader zweiarmiger Hebel (Fig. 60) seine Unterlage genau in der Mitte, und wirken an dem Ende a und b der beiden Arme, die nunmehr gleich lang seyn müssen, auch zwei vollkommen gleich große Kräfte q und p in gleichlaufender Richtung, so kann kein Arm weder steigen, noch sinken, der Hebel muß daher in Ruhe, in dem Zustand des Gleichgewichts seyn. Bringt man ihn auch durch irgend eine Kraft, etwa durch einen Stoß, aus dem Gleichgewicht heraus, so werden beide Arme so lange mit gleicher Geschwindigkeit abwechselnd auf- und abwärts gehen, bis sie wieder ins Gleichgewicht getreten sind. Sind aber beide Kräfte sich nicht völlig gleich, so ist auch, wie leicht zu erachten, der Zustand des Gleichgewichts zu Ende; der Arm mit der kleinern Kraft wird von dem andern, an welchem die größere Kraft wirkt, in die Höhe gezogen werden.

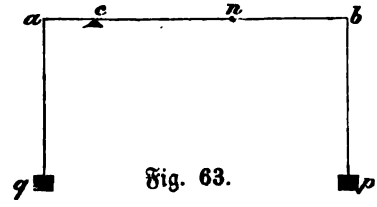



Fig. 63.

Hat ein gerader zweiarmiger Hebel (Fig. 63) seine Unterlage nicht genau in der Mitte, und wirken am Ende a und b der beiden Arme, die nunmehr von ungleicher Länge seyn müssen, zwei vollkommen gleich große Kräfte q und p in gleichlaufender Richtung, so kann auch in diesem Falle kein Gleichgewicht vorhanden seyn. Kommt ein solcher Hebel in Bewegung, so legt der längere Arm in derselben Zeit einen größern Raum auf- und abwärtsgehend zurück, als der kürzere Arm, hat also eine größere Geschwindigkeit, als dieser. Eine größere Geschwindigkeit bringt aber eine verhältnißmäßige Vergrößerung der bewegenden Kraft zum Vorschein, und ungleiche Kräfte können sich

Digitized by Google

unmöglich das Gleichgewicht halten. Es läßt sich mathematisch beweisen, daß die Geschwindigkeit des längern Arms auch gerade so vielmal größer ist, als die des kürzern Arms, so vielmal die Länge von diesem in jener Länge enthalten ist. Ist nun (Fig 63. S. 139) der Arm cb noch einmal so lang, als der Arm ca, während die beiden Kräfte, q und p, sich völlig gleich sind, so hat cb eine noch einmal so große Geschwindigkeit, als ca, mithin auch eine noch einmal so große bewegende Kraft, und beide Arme sind außer dem Gleichgewicht. Wäre cb dreimal länger, als ca, so würde er eine dreimal größere Geschwindigkeit haben, und so wird seine Geschwindigkeit nach Verhältniß der Länge, und so auch seine bewegende Kraft wachsen. Soll nun ein solcher Hebel dennoch im Gleichgewicht seyn, so müssen die bewegenden Kräfte an dem einen Arm so groß seyn, als an dem andern Arm. Weil aber die bewegende Kraft gefunden wird, wenn man die Masse mit ihrer Geschwindigkeit multiplicirt (§ 34), so muß, damit Gleichgewicht sey, der kürzere Arm durch Masse ersetzen, was ihm an Länge abgeht. Das Product einer Masse in ihre Geschwindigkeit wird das mechanische Moment genannt. Daher ist ein jeder zweiarmige Hebel im Gleichgewicht, wenn das mechanische Moment an dem einen Arm so groß ist, als das am andern Arm, und diese mechanischen Momente werden gefunden, indem man die Länge eines jeden Hebelarms mit der daran wirkenden Masse multiplicirt.

Beispiele. 1) Ist cb (Fig. 63. S. 139) 4 Fuß, und ac nur 2 Fuß lang, so muß, um Gleichgewicht zu haben, dieser Arm 10 ℔ tragen, wenn jener 5 ℔ trägt; denn $4 \times 5 = 2 \times 10$.

2) Der längere Hebelsarm sey 24 Fuß, und der kürzere 4 Fuß lang. An dem längern Arm hängen 12 ℔; wie viel Pfund müssen an dem kürzern Arm seyn, um Gleichgewicht zu haben? Antwort; $\frac{12 \times 24}{4} = 72$ ℔, denn $12 \times 24 = 72 \times 4$.

Der längere Arm sey 100 Fuß, der kürzere 1 Fuß lang. An diesem hängen 100 ℔; wie viel Pfund müssen an dem längern Arm seyn, um Gleichgewicht zu haben? Antwort: $\frac{1 \times 100}{100} = 1$ ℔.

Man kann hieraus abnehmen, daß ein zweiarmiger Hebel im Gleichgewicht ist, wenn die Massen sich umgekehrt wie die Längen der Arme verhalten, an denen sie sich befinden, und daß daher ein Arm, der 3200mal länger wäre, als der andere, nur 1 Loth erfordere, um mit 100 ℔ des kürzern Arms im Gleichgewicht zu seyn, ja daß man die ungeheuerste Masse durch das kleinste Gegengewicht vermittelst eines zweiarmigen Hebels im Gleichgewicht erhalten könnte, wenn es möglich ist, dem längern Arm die erforderliche Länge zu geben.

Das ist es denn auch, was den Hebel so brauchbar macht, wenn man durch kleine Gegengewichte große Lasten in Bewegung bringen will. Wie dieses zu bewerkstelligen ist, fällt einem bald ein. Man läßt den kürzern Arm an der Last wirken, und gibt dem mechanischen Moment des längern Arms einen Ueberschuß über den Zustand des Gleichgewichts hinaus, so muß, wenn sonst keine Hindernisse zu überwinden sind, schon der geringste Ueberschuß die Last in Bewegung bringen. Je geringer aber das Gegengewicht gegen die Last ist, desto länger muß dagegen der Arm seyn, an welchem es wirkt. Kommt nun der Hebel in Bewegung, so geht der

Digitized by Google

längere Arm immer desto geschwinder auf- und abwärts, je länger er im Verhältniß zum kürzern ist. Was man also mit dem längern Arm an Gegengewicht erspart, wird dem kürzern an Geschwindigkeit entzogen. Ist nun das Gegengewicht im Verhältniß zur Last gar zu klein, so wird man an Zeit sehr verlieren, und die Bewegung wird nur sehr langsam vor sich gehen. Wollte man eine Last von 1000 ℔ durch ein Gegengewicht von 1 ℔, vermittelst eines zweiarmigen Hebels, fortbewegen, so müßte der Arm, an welchem das einzige Pfund wirkt, über tausendmal länger seyn, als der andere mit den 1000 ℔, und die Geschwindigkeit des kurzen Arms würde zu der des längern Arms das geringe Verhältniß von 1 zu 1000 haben. So nützlich daher auch der Hebel zur Bewegung von Lasten ist, so läßt sich doch ein gewisser Mittelweg, der freilich für jeden Fall nach besondern Umständen ermessen werden muß, nicht überschreiten.

§ 79. (Physischer Hebel.) Die Anwendung dieser Gesetze auf den physischen Hebel ist leicht. Bei dem physischen Hebel hat jeder Arm sein eignes Gewicht, welches natürlich, in so fern der ganze Hebel aus einerlei Materie besteht, bei dem längern Arm mehr beträgt, als bei dem kürzern. Deßwegen wird ein physischer Hebel mit ungleichen Armen, dessen statische Momente gleich sind, d. h. wo einerlei Product herauskommt, wenn man jede Masse mit ihrer Entfernung vom Hypomochlion multiplicirt, doch nicht Gleichgewicht haben können. Sollen hier gleiche statische Momente das Gleichgewicht herstellen, so muß der kurze Hebelsarm verhältnißmäßig dicker seyn, als der längere ist, und ist er dieses nicht, so läßt sich, wenn man das Gewicht der Arme kennt, aus der Entfernung des Schwerpunktes eines jeden Arms vom Ruhepunkte berechnen, wie viel Gewicht dem kürzern Arm noch zuzufügen ist, damit er hierin dem längern gleich sey. Ist dieses bewerkstelligt, so lassen sich alle Gesetze des mathematischen Hebels auf den physischen übertragen. Es kann aber auch seyn, daß ein physischer Hebel, theils zufällig, theils in seiner materiellen Beschaffenheit, noch allerlei andere Hindernisse darbietet, und auch diese dürfen bei der Anwendung nicht immer unberücksichtigt bleiben.

Wirkt an jedem Arm mehr als eine Kraft, so lassen sich die gefundenen Gesetze des Gleichgewichts auch hier ohne viele Schwierigkeit in Anwendung bringen. Man darf nur alle einzelne Momente jeder Seite addiren. Erhält man einerlei Summe, so ist der Hebel im Gleichgewicht. Wäre ca (Fig. 63. S. 139) 5 Fuß, und die in n wirkende Kraft 20 ℔, wäre ferner cb 9 Fuß, und die in b wirkende Kraft 13 ℔, so wäre $5 \times 20 + 9 \times 13 = 227$ die Summe der Momente am langen Arm. Ist nun ca 4 Fuß, so müßte für das Gleichgewicht die daran wirkende Kraft $54^1/_4$ ℔ betragen, weil $4 \times 54^1/_4 = 227$ ist.

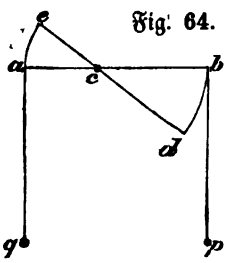
§ 80. (Einarmiger Hebel.) Sehr einfach ist die Uebertragung der Gesetze vom zweiarmigen Hebel auf den geraden einarmigen Hebel. Wirkt hier (Fig. 61. S. 139) eine Kraft q abwärts, und in demselben Punkt a eine andere eben so große Kraft auswärts, so ist der Hebel nothwendig im Gleichgewicht, weil zwei gleich große Kräfte, die in gleicher Entfernung vom Ruhepunkt c einander entgegen wirken, sich nothwendig aufheben müssen. Wirkt aber die andere Kraft aufwärts in b, so hat cb eine größere Geschwindigkeit, als ca. Soll nun der Hebel im Gleichgewicht seyn, so muß auch hier das Moment des einen Arms so groß seyn, als das des andern Arms, und die Massen müssen sich umgekehrt verhalten, wie die Längen der Arme, an welchen sie sich befinden.

Digitized by Google

§ 81. (Anwendungen.) Die Gesetze des Hebels finden unzählige Anwendungen in dem Maschinenwesen, und außer diesem bei den gewöhnlichsten Werkzeugen und bei dem Gliederbaue des Menschen und der Thiere. Manche Werkzeuge, wie der Hebebaum, das Brecheisen, geben sich bei ihrem Gebrauche von selbst als Hebel der ersten Art zu erkennen. Bei andern kostet es ein wenig Ueberlegung, um sie als Hebel zu erkennen. Hierher gehören die Tasten eines Flügels; es sind zweiarmige Hebel, der Finger ist die Kraft, und die Saite die Last. Das Ruder ist ein Hebel der zweiten Art. Die Hände des Ruderers sind die Kraft, das Schiff ist die Last, das Hypomochlion ist das Wasser. Scheeren, Zangen und dergl. sind Hebel der ersten Art. Dergleichen Werkzeuge sind eigentlich aus zwei Hebeln zusammengesetzt, deren gemeinschaftlicher Ruhepunkt in dem Scharnier ist. Je länger die Arme sind, an welchem die Hand oder die Finger wirken, desto mehr läßt sich mit diesen Werkzeugen ausrichten. Schlüssel, Schaufeln, Sensen, Deichsel, Messer, der Schiebkarren und noch eine Menge andere Werkzeuge, bei deren Gebrauch man ein wenig aufmerksam ist, wirken als Hebel der einen oder der andern Art. Bei dem Gebrauch der Sense z. B. ist der Ruhepunkt in der einen, die Kraft in der andern Hand, das abzumähende Gras ist die Last. Bei dem Gliederbaue des Menschen zeigt sich ebenfalls die Hebelkraft wirksam, und oft in einem bewunderungswürdigen hohen Grade; eine Nuß aufzubeißen, erfordert keine geringe Kraft. Der menschliche Arm ist ebenfalls ein Hebel, dessen Ruhepunkt im Schulterblatte ist. In der Regel ist aber der Theil des Arms, woran die Muskelkraft wirkt, mehr als 33mal kleiner als die Länge des Arms, an dem die Last wirkt. Darum ist es auch so schwer, nur wenige Pfund mit ausgestrecktem Arm frei auf der Hand liegend zu halten, weil hier das Moment der Last an dem längern Hebelarm wirkt.

§ 82. (Allgemeine Darstellung der Hebelgesetze.) Wenn ein zweiarmiger gerader Hebel bewegt wird, so durchlaufen die Punkte a und b beim Auf- und Abwärtsgehen, Bogen von Kreisen, die ihren gemeinschaftlichen Mittelpunkt im Ruhepunkt c haben und deren Halbmesser die Hebelsarme sind. Da sie diese Bogen in einerlei Zeit zurücklegen, so haben sie auch gleiche Geschwindigkeit, wenn diese Bogen gleich sind, und dieses muß bei dem gleicharmigen Hebel (Fig. 60. S. 138) nothwendig der Fall seyn.

Fig. 64.




Ist aber der Hebel ungleicharmig (Fig. 64), so durchlaufen die Punkte a und b in gleichen Zeiten ungleiche Bogen ae und bd, und haben demnach eine ungleiche Geschwindigkeit. Da aber die Bogen in gleicher Zeit zurückgelegt werden, so faßt jeder eine gleiche Anzahl Grade, und sie sind daher einander ähnlich. Aehnliche Bogen verhalten sich wie die Halbmesser ihrer Kreise, und dieses sind die Hebelsarme. Also verhalten sich die Geschwindigkeiten wie die Hebelsarme. Ein Arm, der nmal so lang ist, als der andere, hat daher auch eine nfache Geschwindigkeit, mithin auch nmal mehr bewegende Kraft. Hat nun die Masse q die Geschwindigkeit m, so ist ihr mechanisches Moment qm; hat die Masse p die Geschwindigkeit h, so ist ihr mechanisches Moment ph. Für den mathematischen Hebel entsteht nun der Zustand des Gleichgewichts, wenn qm = ph ist. Aus der Gleichheit dieser Producte läßt sich aber die Proportion ableiten:

Digitized by Google

$$q : p = h : m$$

und hieraus einsehen, daß die Massen sich umgekehrt wie die Geschwindigkeiten verhalten müssen, wenn der Hebel im Gleichgewicht seyn soll. Mit Hülfe dieser Proportion kann dann irgend eines dieser vier Glieder berechnet werden, wenn die drei andern bekannt sind.

Kennt man die Größe einer jeden Masse, und auch die Entfernung, wie weit eine von der andern am Hebel wirken soll, so kann man mit Hülfe des Gesetzes für das Gleichgewicht, sowohl für den zweiarmigen, als den einarmigen Hebel, den Ort bestimmen, wo das Hypomochlion hingehört, wenn Gleichgewicht eintreten soll.

Ist der Hebel zweiarmig (Fig. 63. S. 139), weiß man, wie groß q und p ist, und daß sie, um die Länge ab von einander entfernt, am Hebel wirken sollen, so kann man den Ort des Ruhepunkts c auf folgende Weise bestimmen: Da die Länge ac unbekannt ist, so nenne man sie x, und so muß bc herauskommen, wenn man x von ab abzieht. Die Rechnung bequemer zu machen, setze man e statt ab, so ist $bc = e - x$. Für q ist das mechanische Moment qx und für p ist es $(e - x)\,p$. Soll nun der Hebel im Gleichgewicht seyn, so muß auch seyn:

$$qx = (e - x)\,p.$$

Löst man diese Gleichung auf, so findet sich:

$$x \text{ oder } ac = \frac{ep}{q + p}$$

folglich $e - x$ oder $bc = \frac{eq}{q + p}$

Ist der Hebel einarmig (Fig. 61. S. 139), q und p und ab bekannt, so kann man c auf folgende Weise bestimmen: Die unbekannte Länge ac nenne man wiederum x, so muß jetzt bc herauskommen, wenn zu x noch ab addirt wird. Setzt man für ab wieder e, so ist $bc = e + x$. Jetzt muß, wenn Gleichgewicht seyn soll:

$$qx = (e + x)\,p \text{ seyn,}$$

daher x oder $ac = \frac{ep}{q - p}$

folglich $e + x$ oder $bc = \frac{eq}{q - p}$

Für zwei Massen, die am Hebel wirken sollen, kann man also den Ort des Ruhepunktes dadurch finden, daß man die Entfernung der beiden Massen mit einer Masse multiplicirt, und das Product durch die Summe der Massen dividirt, wenn es ein zweiarmiger Hebel ist; ist es aber ein einarmiger Hebel, so dividirt man durch die Differenz der Massen.

Setzt man (Fig. 63. S. 139) ab = 6 Fuß, q = 10 ℔, p = 2 ℔, so ist der Ort des Ruhepunktes $= \frac{6 \times 2}{12} = 1$ Fuß von q anzubringen.

Setzt man (Fig. 61. S. 139) dieselben Zahlen für den einarmigen Hebel, so ist der Ort des Ruhepunktes $\frac{6 \times 2}{8} = 1\frac{1}{2}$ Fuß von q anzubringen; hier müßte nun p um $7\frac{1}{2}$ Fuß von c entfernt seyn.

Aber nicht nur der Ort des Ruhepunktes läßt sich durch die allgemeinen Ausdrücke bestimmen; es kann auch daraus ersehen werden, daß er immer näher nach der größern Kraft zu liegen muß, weil, wenn q größer

Digitized by Google

als p ist, der Dividend ep kleiner als der eq seyn muß, und da der Divisor derselbe ist, so muß ac kleiner als bc seyn.

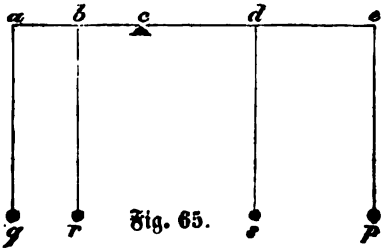


Fig. 65.

Wirken an einem geradlinigen mathematischen Hebel der ersten und zweiten Art mehrere Kräfte unter gleichen Winkeln (Fig. 65), so entsteht Gleichgewicht, wenn die Summen der mechanischen Momente auf beiden Seiten gleich sind, in welchem Falle also:

$$q \times ac + r \times bc = p \times ec + s \times de$$

seyn muß.

Man kann auch die mechanischen Momente dadurch berechnen, daß man erst einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt für alle Kräfte auf der einen, und eben so für alle Kräfte auf der andern Seite sucht, und sich dann alle in ihrem gemeinschaftlichen Schwerpunkt wirksam vorstellt. Gesetzt, der gemeinschaftliche Schwerpunkt von q und r wäre in irgend einem Punkt x, so ist cx die Entfernung vom Ruhepunkt. Eben so ist cy die Entfernung vom Ruhepunkt für s und p, wenn irgend ein Punkt y ihr gemeinschaftlicher Schwerpunkt ist. Da nun

$$(q + r)\ cx = q \times ac + r \times bc$$

so kann man hieraus cx finden, nämlich

$$cx = \frac{q \times ac + r \times bc}{q + r}$$

und da ferner

$$(p + s)\ cy = p \times ec + s \times de$$

$$\text{so ist } cy = \frac{p \times ec + s \times dc}{p + s}.$$

Multiplicirt man jetzt die Entfernung cx mit $q + r$ und die cy mit $p + s$, so findet man wieder denselben Ausdruck für die mechanischen Momente, wie vorhin, wo man die Kräfte außer dem Schwerpunkt betrachtet hat.

Bei allen bisherigen Untersuchungen war angenommen, daß die Kräfte, die am Hebel wirken, es in senkrechter Richtung thun. In dieser Richtung wirken sie auch am vollständigsten. Wirken sie aber in schiefer Richtung, so geht ein Theil der Kraft dadurch verloren, und der noch übrig bleibende wirksame Theil kann durch Zerlegung der Kräfte gefunden werden. Wenn nämlich die Kraft q unter dem schiefen Winkel x am Hebel wirkt (Fig. 66), so kann man sie zerlegen in mq und qg. Diese ist mit dem Hebel parallel und geht daher verloren, und nur jene bleibt als wirksam übrig. In Bezug auf eine in dieser Hinsicht bereits angegebene Berechnung (§ 40) ist also:

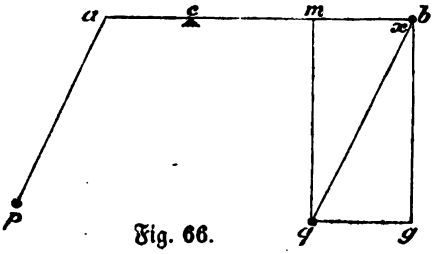


Fig. 66.

bq : mq = sin. tot. : sin. x.

Mithin ist jetzt das mechanische Moment der Kraft q

$= q \times bc \times \sin. x$. Man muß daher, wenn die Richtung ſchief iſt, das mechaniſche Moment für die ſenkrechte Richtung noch mit dem Sinus des Neigungswinkels multipliciren. Wirken beide Kräfte in ſchiefer Richtung, ſo iſt der Hebel im Gleichgewicht, wenn die mechaniſchen Momente, mit dem Sinus ihrer Neigungswinkel multiplicirt, einander gleich ſind. Wirkt (Fig. 66.) q unter einem Winkel x und p unter einem Winkel v, ſo iſt der Hebel im Gleichgewicht, wenn

$$q \times bc \times \sin. x = p \times ac \times \sin. v.$$

In dieſer Darſtellung des Gleichgewichts liegt eigentlich die allgemeinſte Ueberſicht des ganzen Geſetzes, die Kräfte mögen unter was immer für Winkel wirken. Wenn x und v rechte Winkel, oder ſonſt von gleicher Größe ſind, ſo bleibt $q \times bc = p \times ac$. Iſt x nicht gleich v, aber die Richtungen, in welchen die Kräfte wirken, einander gleichlaufend, nämlich qb gleichlaufend pa, ſo machen x und v zuſammen zwei rechte Winkel, dann iſt sin. x auch wieder = sin. v und ſo bleibt abermals $q \times bc = p \times ac$. Für den Fall nur, wo x nicht gleich v, und qb auch nicht gleichlaufend mit pa iſt, findet allein die obige Darſtellung ihre volle Anwendung.

### Beiſpiel.

bc ſey = 12 Fuß; q = 15 ℔; x = 60 Grad.
ac ſey = 5 Fuß; p = 32⅕ ℔; v = 108 Grad.

Da nun: $12 \times 15 \times \sin. 60^0$ ſehr nahe $= 5 \times 32\frac{1}{5} \times \sin. 108^0$ ſo iſt der Hebel im Gleichgewicht. Die Ausrechnung läßt ſich leicht logarithmiſch darſtellen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| log. | 12 | = | 1,0791812 |
| log. | 15 | = | 1,1760913 |
| log. sin. | $60^0$ | = | 9,9375306 |
| | | | 12,1928031. |

Auf der andern Seite iſt:

| | | | |
|---|---|---|---|
| log. | 5 | = | 0,6989700 |
| log | $164/5$ | = | 1,5158738 |
| log. sin. | $108^0$ | = | 9,9782063 = log. sin. $72^0$. |
| | | | 12,1930501. |

§ 83. (Winkelhebel.) Ein Winkelhebel kann ebenfalls ein Hebel der erſten Art ſeyn (Fig. 62) oder der zweiten Art

Fig. 67.

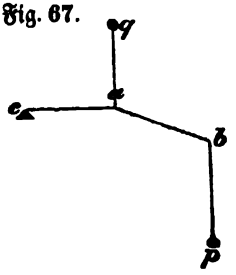
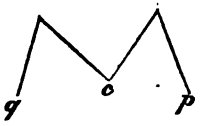



Fig. 62.

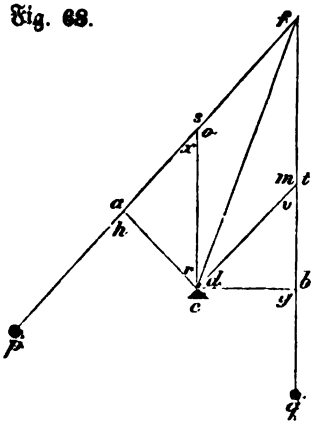



(Fig 67). Die Geſetze des geradlinigen Hebels gelten auch hier wieder. Dieß einzuſehen, betrachte man einen Winkelhebel der erſten Art, an welchem die Kräfte ſenkrecht wirken. Es läßt ſich dann zeigen, daß auch hier der Hebel im Gleichgewicht iſt, wenn die Maſſen ſich umgekehrt wie die Längen ihrer Arme verhalten. Iſt acb



Digitized by Google

Fig. 68.




(Fig. 68) ein solcher Hebel, dessen Ruhepunkt in c ist, und wirken p und q senkrecht auf a und b, so verlängere man die Richtung der Kräfte, bis sie irgendwo in einem Punkte f zusammentreffen. Man kann sich dann vorstellen, beide Kräfte wirkten von f aus, nach fs und ft hin. Zieht man von c aus ct parallel mit fs und cs parallel mit ft, so entsteht ein Parallelogramm, dessen Diagonale fc ist. Der Punkt f würde sich demnach in der Richtung fc bewegen, wenn nicht durch die Unterstützung in c die Wirkung der Seitenkräfte aufgehoben und Gleichgewicht hergestellt wäre. Bei diesem Zustand des Gleichgewichts verhält sich daher:

$$p : q = fs : ft.$$

Nun ist aber der Triangel acs ähnlich dem Triangel bcf, weil bei a und b, vermöge der Annahme, rechte Winkel sind; o und m sind gegenüberstehende Winkel im Parallelogramm, also $o = m$, daher auch $x = v$ und darum $r = d$. Mithin verhält sich:

$$ac : bc = cs : ct = ft : fs = q : p.$$

Daher verhält sich: $p : q = bc : ac$

also umgekehrt wie die Länge der Hebelsarme.

Auf ähnliche Weise läßt sich auch die Richtigkeit des Gesetzes für den Winkelhebel der zweiten Art nachweisen, so wie man, wenn g und h schiefe Winkel sind, durch Zerlegung der Kräfte zeigen kann, daß Gleichgewicht eintrete, wenn, wie bei dem geradlinigen Hebel, $P \times ac \times \sin. h = q \times bc \times \sin. g$. Schellenzüge sind Winkelhebel; auch in Bergwerken und sonst noch macht man von diesen Hebeln Gebrauch.

§ 84. (Wage.) Der unentbehrliche Gebrauch der Wage, zur Bestimmung des Gewichts materieller Körper, ist Jedem bekannt. Ihre Einrichtung gründet sich auf die Gesetze des Schwerpunktes und des Hebels; denn der Wagebalken ist ein physischer zweiarmiger Hebel. Richtig ist eine Wage, wenn sie das wahre Gewicht eines Körpers so genau angibt, als man es zu wissen verlangt, und empfindlich oder fein ist sie, wenn schon ein geringes Gewichtchen ihr Gleichgewicht stört. Der Wagebalken kann aber gleicharmig seyn, wie bei der Gleich- oder gemeinen Krämerwage, und ungleicharmig, wie bei der Schnell- oder Schnappwage.

Die Gleichwage muß einen Wagebalken haben, dessen beide Arme genau von gleicher Länge sind; ist einer von ihnen länger, als der andere, so können, wenn der Balken sonst gleichförmig ist, zwei gleich große Gewichte an jedem Arm nicht im Gleichgewicht seyn. Unbeschwert, oder beide Arme gleich stark beschwert, muß der Wagebalken genau horizontal stehen; steht er unter diesen Umständen schief, so ist die Wage falsch. Die Beschwerung darf den Balken nicht biegen, denn leicht könnte dieses an einem Arm mehr als an dem andern betragen, und seine gleicharmige Form dadurch aufgehoben werden. Der Balken dreht sich um Zapfen. Die Reibung des Balkens mit den Zapfen ist der Empfindlichkeit der Wage nachtheilig; diesem Nachtheil möglichst zu begegnen, schärft man die Zapfen unten messerförmig zu, und bei sehr feinen Wagen unterlegt man

Digitized by Google

sie auch wohl mit Achat oder Karneol. Der Schwerpunkt des Balkens muß ein wenig unter den Zapfen liegen; je tiefer der Schwerpunkt unter den Zapfen liegt, desto geringer ist die Empfindlichkeit der Wage, und sie würde am empfindlichsten seyn, wenn die Zapfen gerade im Schwerpunkte säßen. Dieses geht aber darum nicht an, weil bei der geringsten Ueberwucht eines Arms der Balken sich gleich lothrecht stellen würde. Läge aber der Schwerpunkt über den Zapfen, so würde der Balken bei der geringsten Ueberwucht eines Arms sogleich umschlagen. Die Zapfen werden von der Gabel oder Scheere getragen. Diese muß lothrecht auf dem Balken sitzen, frei und lothrecht aufgehängt seyn. In dem Mittelpunkte des Balkens, senkrecht über seinem Schwerpunkte, sitzt die Zunge, zwischen den beiden Schenkeln der Scheere. In dem Zustand des Gleichgewichts steht die Zunge in der Scheere inne, lothrecht über dem Balken; hört dieser Zustand auf, so tritt sie aus der Scheere heraus, nach der Seite des stärker beschwerten Arms hin. Die Abweichung der Zunge von der lothrechten Lage, nachdem der Balken zu schwingen aufgehört hat, nennt man den Ausschlag. Ein geringer Ausschlag läßt sich nur bei solchen Wagen erkennen, bei denen Zunge und Scheere von gehöriger Länge sind, wie bei den gewöhnlichen Goldwagen. Die Wagschalen müssen vollkommen gleiches Gewicht haben, senkrecht und gleich weit von den Zapfen aufgehängt seyn; die Größe der Schalen richtet sich nach der Bestimmung der Wage. Kleine Wagen, zu feinen Gegenständen, werden wohl genauer gearbeitet, als große Wagen, zu gröbern Gegenständen; indessen kann eine solche mit einer kleinern einen verhältnißmäßig gleich großen Grad von Empfindlichkeit besitzen. Wenn z. B. eine Zentnerwage in jeder Schale mit zwei Zentnern beschwert ist, und durch die Zulage von zwei Loth in eine der Schalen ihr Gleichgewicht verliert, so ist sie verhältnißmäßig eben so empfindlich wie eine kleine Wage, die für $^1/_8$ Gran einen Ausschlag gibt, wenn jede Schale 400 Gran trägt, weil dann der eine wie der andere Ausschlag durch $^1/_{3200}$ der ganzen Belastung erzeugt worden ist. Wie groß die Empfindlichkeit einer Wage ist, läßt sich durch den Bruch bestimmen, der herauskommt, wenn man das geringste Gewicht, bei dem die Wage noch einen Ausschlag gibt, durch ihre Tragkraft, d. i. durch das größte Gewicht dividirt, welches sie ohne Beschädigung in jeder Schale tragen kann. Wäre z. B. das Totalgewicht für die Tragkraft einer Wage 100 preußische Pfund = 46771,1 Gramm, und gäbe sie für 0,1 Gramm noch einen Ausschlag, so wäre ihre Empfindlichkeit = 0,000002. Gegenwärtig versteht man Wagen zu machen, deren Empfindlichkeit noch viel größer ist, und über 0,00001 Empfindlichkeit könnte jetzt eine jede Wage haben.

Die Schnellwage oder römische (romanische) oder Schnappwage hat einen Wagebalken, dessen Arme von ungleicher Länge sind. Auch hier spielt die Zunge in einer Scheere, wodurch Gleichgewicht und Ausschlag wie bei der gleicharmigen Wage angezeigt wird. Durch die Schnellwage kann man große Lasten durch kleine Gegengewichte abwägen. Die Last kommt an den kurzen Arm; auf dem langen Arm läßt sich ein Gewicht verschieben. Dieses Gewicht heißt der Läufer oder das Laufgewicht. Je weiter man den Läufer von den Zapfen wegrücken muß, um Gleichgewicht zu haben, desto mehr wiegt die Last. Wäge der Läufer 4 ℔, und wäre der lange Arm 30mal so lang, als der kurze Arm, so könnte man auf einer solchen Wage bis 120 ℔ abwägen, weil die Momente $4 \times 30$ und $1 \times 120$ einander gleich sind. Die Entfernungen, wo der Läufer



Digitized by Google

im Gleichgewicht ist mit Lasten, die weniger als 120 ℔ wiegen, werden am langen Arm durch Einschnitte mit daran bemerkten Zahlen angegeben. In dem angenommenen Beispiele dürfte der Läufer nur ein Viertel so weit vom Ruhepunkte, als der kurze Arm seyn, wenn er mit einem Pfund, und nur ein Achtel so weit, wenn er mit einem halben Pfund Gleichgewicht halten soll. Fünfmal so weit vom Ruhepunkt als der kurze Arm, hält er mit 20 ℔ Gleichgewicht. Gewöhnlich hat eine Schnellwage eine leichte und eine schwere Seite. Bei dieser ist der kurze Arm noch kleiner im Verhältniß zum langen Arm, und Lasten, für welche die leichte Seite nicht mehr zureicht, können noch auf der schweren Seite mit demselben Laufgewicht abgewägt werden.

Man könnte eine Schnellwage auch so einrichten, daß das Gegengewicht fest säße, dagegen aber der Ruhepunkt zu verschieben wäre. Eine solche Einrichtung hat die schwedische oder dänische Schnellwage. So fein, wie die Gleichwage, können weder die Schnellwagen gemacht werden, noch auch die Brücken- und Dezimalwagen, die einen zusammengesetzten Hebel haben.

§ 85. (Radwelle.) Radwelle, Rad an der Welle, ist jeder Cylinder, der um seine Achse beweglich ist, und der durch die Mitte einer Scheibe, eines Rades oder kreuzweise über einander liegender Stöcke (Speichen) geht. Den Cylinder nennt man die Welle. Um den Umfang der Welle (Fig. 69) ist ein Seil geschlagen, an dessen Ende eine Last p hängt, und an dem Umfange der Scheibe, des Rades oder der Speichen wirkt die Kraft q. Der Halbmesser der Welle ac und der Halbmesser des Rades cb bilden zwei Hebelsarme, deren gemeinschaftlicher Ruhepunkt in c ist. Daher denn auch die Gesetze des Hebels hier wiederum in Anwendung kommen. Wirken Kraft und Last an dem Umfang des Rades und der Welle unter rechten Winkeln, so sind sie im Gleichgewicht, wenn $p \times ae = q \times cb$. Alsdann verhält sich $p : q = cb : ac$. Je größer der Halbmesser cb des Rades gegen den Halbmesser ac der Welle ist, desto geringer kann die Kraft am Rade gegen die Kraft an der Welle seyn, um ihr Gleichgewicht zu halten, oder sie zu bewegen. Eine jede Winde ist eine Radwelle. Ist die Welle liegend oder horizontal, so nennt man sie einen Haspel, ist sie stehend oder vertical, so heißt sie Göpel. Hierher gehören dann eine Menge Maschinen, die unter verschiedenen Namen vorkommen, und die vielfach im Gebrauche sind: Laufräder, Treträder, Wasserräder, Windflügel, Erdwinden, Zahnräder ꝛc.

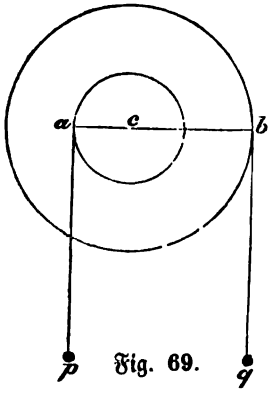


Fig. 69.

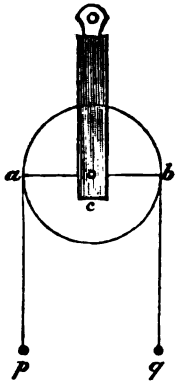
Bei allen Maschinen, wo die Radwelle angewandt wird, darf man aber den Halbmesser des Rades, im Verhältniß zum Halbmesser der Welle nicht übermäßig groß annehmen, weil man den Gewinn, den man dabei an Kraft allerdings erlangt, wieder an Zeit und Geschwindigkeit verliert, wie dieses denn auch am Hebel der Fall ist. Woher dieser Verlust bei der Radwelle entsteht, läßt sich bald einsehen, wenn man erwägt, daß Rad und Welle ihre Umdrehungen in gleicher Zeit zurücklegen. Die Peripherie des Rades ist daher der Weg der Kraft, und die Peripherie der Welle der

Digitized by Google

Weg der Last; das Verhältniß der Peripherien ist mithin auch das Verhältniß der Wege, folglich auch das der Geschwindigkeit. Da aber zwei Peripherien wie ihre Halbmesser sich verhalten, so wird auch der Weg der Kraft in eben dem Verhältniß gegen den Weg der Last wachsen, in welchem cb gegen ac sich vergrößert, und die Bewegung der Last wird um so vielmal langsamer erfolgen.

§ 86. (Rolle.) Rolle ist der Name einer kreisrunden Scheibe, die um ihren Mittelpunkt sich bewegen läßt. Zwischen ihr und der Radwelle findet der wesentliche Unterschied statt, daß bei dieser beide, Rad und Welle, sich zugleich umdrehen, die Welle der Rolle aber, aus einem Stift bestehend, den man den Polzen (Bolzen) nennt, in einer Hülse befestigt ist, daher sich nicht mit umdrehen kann. Um den Umfang der Rolle geht ein Seil, an dessen beiden Enden Kraft uud Last wirken. Soll eine Rolle als Maschine wirken, durch welche Kraft erspart werden kann, so muß sie selbst mit thätig seyn, mit ziehen helfen. Aus diesem Grunde wird in der Maschinenlehre die feste Rolle, die man auch die einfache und unbewegliche, oder die Rolle der ersten Art nennt, von der beweglichen Rolle, die man auch lose Rolle, Zugrolle oder Rolle der andern Art nennt, als sehr verschieden betrachtet.

Fig. 70.




Die feste Rolle (Fig. 70), die den Ort, wo sie angebracht ist, nicht verändert, wenn Kraft und Last, die an ihr sich befinden, in Bewegung kommen, bildet einen zweiarmigen und gleicharmigen Hebel, dessen Ruhepunkt mit dem Mittelpunkt c der Rolle zusammen fällt. Die Gesetze des gleicharmigen Hebels der ersten Art lassen sich daher völlig auf die feste Rolle übertragen, aber an Kraft kann mit dieser Rolle weiter nichts gewonnen werden. Der Nutzen, den sie leistet, besteht darin, daß man durch sie die Kraft q bequemer anbringen, ihr jede beliebige Richtung geben, und die Last p geschickter fortleiten kann. So bedient man sich ihrer häufig, um eine Last, die an einem Seile hängt, lothrecht in die Höhe zu ziehen, indem die Kraft, z. B. ein Mensch, das andere Ende des Seils lothrecht abwärts zieht.

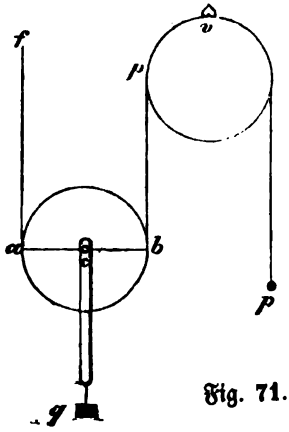



Fig. 71.

Die bewegliche Rolle (Fig. 71), die sich mit bewegen kann, wenn die Last von der Kraft überwunden wird, trägt viel zur Ersparniß an Kraft bei, und diese ist es, die man zu den einfachen Maschinen rechnet. Ihr Umfang ruht auf einem Seile, dessen eines Ende f befestigt ist, und an dessen anderes Ende die Kraft p aufwärts wirkt. Die Last q ist mittelst eines Klobens in dem Mittelpunkt der Rolle aufgehängt. Der einfachste und zugleich vortheilhafteste Zug ist der, wo Kraft und Last gleichlaufend und in senkrechter Richtung an der Rolle wirken. Man hat alsdann einen Hebel, dessen Ruhepunkt in a ist, und weil nun Kraft und Last auf derselben Seite des Ruhepunktes sich befinden, so ist dieser Hebel ein Hebel der zweiten Art. Da

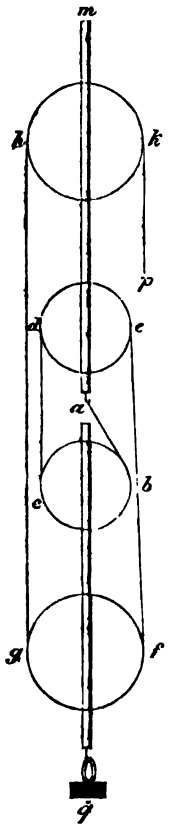
Digitized by Google

nun b noch einmal so weit vom Ruhepunkt entfernt ist, als c, so ist, nach den Gesetzen des Hebels, p im Gleichgewicht mit q, wenn sie nur halb so groß als q ist. Hier ist also die halbe Kraft erspart. Weil aber das Seil, auf dem die Rolle ruht, an beiden Enden sich um gleich viel verkürzen muß, wenn die Rolle senkrecht in die Höhe gezogen wird, und beide Verkürzungen von der Kraft p allein bewerkstelligt werden müssen, weil die Rolle in f fest ist; so muß die Kraft in eben der Zeit denselben Weg doppelt zurücklegen, den die Last einmal zurücklegt. Daher man denn auch hier wieder an Geschwindigkeit einbüßt, was man an Kraft gewinnt.

Wo man Gebrauch von der beweglichen Rolle macht, wird es wohl immer unbequem werden, die Kraft p unmittelbar an das Seil setzen und aufwärts wirken zu lassen. Dieser Unbequemlichkeit hilft man dadurch ab, daß man das Seil noch um eine feste Rolle v gehen läßt, damit die Kraft p abwärts ziehen kann.

Sind mehrere Rollen, theils feste, theils bewegliche, in einem Gehäuse (Flasche, Kloben) so mit einander verbunden, daß das Seil abwechselnd um eine lose und eine feste Rolle geht, so hat man einen Flaschenzug. In der Zeichnung (Fig. 72) ist ein Flaschenzug mit vier Rollen dargestellt. Das Seil ist an dem Kloben bei a befestigt und geht um die lose Rolle cb aufwärts um die feste Rolle de, von da abwärts um die lose Rolle gf, und wieder aufwärts um die feste Rolle hk, die in m fest sitzt. An p wirkt die Zugkraft, an q ist die Last, die gehoben werden soll.

Fig. 72.




Ist der Flaschenzug im Gleichgewicht, so werden die Seile der untern Rollen durch die Last q gespannt. Weil die Seile parallel wirken, und Alles im Gleichgewicht ist, so müssen die Seilstücke ab und cd eben so viel gespannt seyn, als die Seilstücke ef und gh, denn sonst müßte nach der Richtung der größern Spannung Bewegung erfolgen. Die Last q ist daher auf alle untere Rollen gleichmäßig vertheilt, da die oberen Rollen nur zur bessern Leitung der Zugkraft dienen. Sind zwei untere Rollen, so kommt auf jede die Hälfte, sind drei untere Rollen, so kommt auf jede ein Drittel der Last. Ueberhaupt kann man hiernach den Theil der Last finden, den jede untere Rolle zu tragen hat, wenn man die Last durch die Anzahl der untern Rollen dividirt. Nun aber hat jede Rolle zwei Seilstücke, daher jedes einzelne Seilstück die Hälfte der Rollenlast trägt. Man muß demnach die Last mit der doppelten Zahl der untern Rollen dividiren, um den Theil der Last zu finden, der auf jedes Seilstück der untern Rollen kommt. Ist nun die Kraft p stark genug, mit dem Seil gh und mit dem Theil der Last, die diesem Stück zukommt, Gleichgewicht zu halten, so muß der ganze Flaschenzug im Gleichgewicht seyn.

Hieraus ergibt sich dann folgende Regel: Man findet die Kraft (das Gegengewicht), welche der Last am Flaschenzug das Gleichgewicht hält, wenn man die Last entweder durch die doppelte Zahl der untern Rollen, oder durch die Zahl der einzelnen Seilstücke der untern Rollen dividirt.

Digitized by Google

Ist q = 100 ℔ und sind zwei bewegliche Rollen in der untern Flasche, so ist $p = {}^{100}/_{4} = 25$ ℔.

Ist q = 1000 ℔ und sind vier bewegliche Rollen in der untern Flasche, so $p = {}^{1000}/_{8} = 125$ ℔.

Mit der Zunahme der beweglichen Rollen kann die Kraft an p immer geringer werden, um mit derselben Last q Gleichgewicht zu halten. Wird aber die Last in die Höhe gezogen, so müßte jedes Seilstück um einen Fuß sich verkürzen, wenn die Last einen Fuß hoch gehoben werden soll. Weil nun alle diese Verkürzungen bei der Kraft p zusammentreffen, so muß die Kraft den Weg der Last in derselben Zeit so vielmal durchlaufen, als Seilstücke vorhanden sind, daher denn auch hier wieder an Geschwindigkeit verloren geht, was an Kraft gewonnen wird.

§ 87. (Traghebel.) Bei dem Traghebel hängt die Last innerhalb des Hebels, und wird, so wie das Gewicht der Hebelstange, von der Kraft getragen. Wird ein solcher Hebel an jedem Ende von einer Kraft gehalten, und sind beide Kräfte einander gleich, so muß die Last in der Mitte des Hebels hängen, wenn jede Kraft gleich viel leisten soll. Sind aber die Kräfte ungleich, so muß die Last der größern Kraft näher liegen, wenn jede Kraft ihren verhältnißmäßigen Antheil tragen soll. Kennt man die Länge des Hebels und das Verhältniß der Kräfte, so läßt sich hieraus der Ort bestimmen, wohin die Last aufgehängt werden muß. Ist p die größere, q die kleinere Kraft, a die Länge des Hebels und x der Aufhängepunkt der Last, so ist:

$$(p + q) : p = a : x$$

$$\text{also } x = \frac{pa}{p + q}.$$

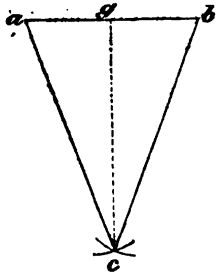
Tragen zwei Personen, deren Kräfte sich wie 3 zu 2 verhalten, und ist die Tragstange 10 Fuß lang, so ist (wenn p = 3 ist):

$$x = \frac{3 \times 10}{5} = 6.$$

Die Last muß daher 6 Fuß weit von der kleinern und 4 Fuß weit von der größern Kraft hängen, wenn jede Kraft ihren verhältnißmäßigen Antheil tragen soll.

§ 88. (Keil und Schraube.) Ein dreiseitiges Prisma von Holz oder Metall wird ein Keil genannt, und kann als bestehend aus zwei schiefen Ebenen betrachtet werden, deren Grundflächen in einander fallen. Die Grundfläche des Keils ist gewöhnlich ein gleichschenkliges Dreieck abc (Fig. 73). Die beiden Schenkel ac und bc heißen die Seiten oder Seitenlinien, die Grundfläche ab der Rücken, und die senkrechte Höhe cg die Länge des Keils. Mathematisch läßt sich beweisen, daß hier die Kraft zur Last sich verhält wie die Breite des Rückens ab zur Länge cg. Ein solcher Keil wird auch ein doppelter genannt, und dient zum Spalten von Klötzen und Steinmassen, so wie überhaupt Messer, Aexte, Scheeren, Meißel, Nägel, Nadeln, Pflugschaare u. s. w. ebenfalls keilförmig wirken. Der Keil ist übrigens von großer Wirkung, und diese ist allemal um so größer, je mehr seine Länge die Breite seines Rückens übersteigt; allein in

Fig. 73.




Digitized by Google

eben diesem Verhältniß verliert man auch wieder an Geschwindigkeit, was an Kraft gewonnen wird, weil ein kürzerer Keil sich schneller eintreiben läßt.

Trifft bei einem Keil die eine Seite mit der Grundlinie unter einem rechten Winkel zusammen, so heißt er ein einfacher, und dieser dient besonders dazu, um Lasten, z. B. Schiffe, zu heben, oder Flächen einander näher zu bringen.

Die Schraube besteht aus einer Walze (Spindel) mit hervorragenden spiralförmigen Umlegungen, die man das Gewinde nennt, und dessen einzelne gleiche und gleichgestalte Theile die Schraubengänge bilden (Fig. 74). Das Gewinde (die männliche Schraube) paßt in die Vertiefungen ab, welche die weibliche Schraube oder die Schraubenmutter heißen. Beide wirken allemal zu gleicher Zeit. Wird das Gewinde nach der Richtung, in welcher die Schraubengänge aufsteigen, gedrehet, während die Schraubenmutter fest ist, so wird die Last P gehoben, und die Kraft Q, mit welcher P gehoben wird, hängt von der Weite cd der Schraubengänge ab, denn es vrrhält sich allemal Q zu P wie die Weite eines Schraubenganges zum Umfang der Walze. Dieß einzusehn, denke man sich (Fig. 75),

Fig. 74.

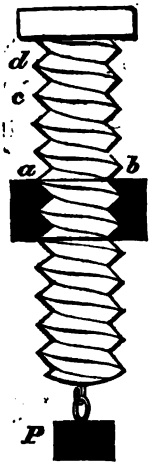
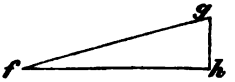



Fig. 75.




in dem rechtwinkligen Dreieck fgh sey gh die Weite eines Schraubenganges im Gewinde, und fh der Umfang der Walze, so bildet fg einen Schraubengang, wenn man das Dreieck um die Walze wickelt. Daher verhält sich hier auch P : Q = fh : gh, d. h. die Kraft kann so vielmal kleiner seyn als die Last, als der Umfang der Walze größer ist als ein Schraubengang (§ 62). Ist statt der Mutter ein Stirnrad angebracht, in dessen Zähne das Schraubengewinde eingreift, wenn das Rad vermittelst einer Kurbel umgedreht wird, so hat man eine Schraube ohne Ende, die besonders auch da gebraucht wird, wo man sehr sanfte Bewegungen hervorbringen will.

Hängt eine Last an der Welle eines Rades, etwa wie bei einer Art von Krahnen oder Kranichen, die an dem Hafen eines schiffbaren Flusses angelegt werden, so kann solche mit leichter Mühe gehoben werden. Die Kraft, mit welcher dieß geschieht, oder zunächst die Kraft, welche der Last das Gleichgewicht hält, hängt hier von folgenden Verhältnissen ab: 1) Von dem des Halbmessers der Kurbel zum Halbmesser der Welle; 2) von dem Umfang der Schraubenspindel zur Weite des Schraubenganges; 3) von dem Halbmesser des Rades zum Halbmesser seiner Welle.

Angenommen, die drei Verhältnisse seyen

10 : 1
8 : 1
6 : 1

so verhält sich hier die Last zur Kraft, für den Zustand des Gleichgewichts wie 480 : 1, d. h. 480 ℔ werden von einer Kraft von 1 ℔ im Gleichgewicht erhalten und von einer etwas größern gehoben werden. Ein

Digitized by Google

Mensch, dessen Kraft 40 ℔ zu halten vermag, kann daher 480 × 40 = 19200 ℔ im Gleichgewicht halten. Auch hier geht aber wieder an Geschwindigkeit verloren, was an Kraft gewonnen wird, da die Kurbel 480mal umgedreht werden muß, um die Last um einen Fuß zu heben.

---

# Siebentes Kapitel.

## Hindernisse der Bewegung.

§ 89. (Widerstand des Mittels) Mit wie vieler Umsicht man auch bei Ableitung der Gesetze, die jede Bewegung regieren, zu Werke gehen mag, und wie richtig sie auch dem Verstande sich darstellen, so wird doch immer der Umstand, daß der forschende Beobachter Wirkung und Gegenwirkung, die in der großen Werkstätte der Natur gepaart sind, in der Idee trennen und vereinzeln muß, manche Lücke lassen und Beschränkungen für die Anwendung erzeugen. Zu ihnen gehören denn auch die Hindernisse, die jeder relativen Bewegung irdischer Körper entgegen treten, sie schwächen und ihr nach und nach ein Ende machen. Nicht nur müßte, ohne diese Hindernisse, überall schon Bewegung erfolgen, wenn zwei Kräfte sich entgegenwirken, und eine der andern auch noch so wenig überlegen wäre, es müßte auch die einmal entstandene Bewegung, vermöge der Trägheit, unausgesetzt fortdauern. Weder das Eine, noch das Andere trifft aber mit der Wirklichkeit zusammen. Die ausführliche Aufzählung dieser Hindernisse, die theils in der materiellen Beschaffenheit der Körper, theils in der Form, theils in äußern Umgebungen ihren Grund haben, und die Art, sie zu beseitigen oder sich ihrer mit Vortheil zu bedienen, bleibt jedoch der Maschinenlehre überlassen. Der Widerstand, den die Masse an sich leistet, der Widerstand des Mittels, in welchem die Bewegung statt hat, und vor Allem die Reibung einer Körperfläche auf einer andern, sind die hauptsächlichsten Hindernisse der Bewegung.

Je größer eine Masse ist, je mehr wird sie Kraft erfordern, um sich mit einer gewissen Geschwindigkeit zu bewegen; doppelt so viel Masse wird auch doppelt so viel Kraft erfordern, und einen doppelt so großen Widerstand leisten. Vermöge der Schwere widersteht auch jede Masse, die sich senkrecht oder schräg aufwärts und horizontal bewegt.

Da die Räume, in welchen die irdischen Körper sich bewegen, selbst wieder mit materiellen Körpern, mit Luft, Wasser ꝛc. erfüllt sind, so leisten diese, vermöge ihrer Undurchdringlichkeit, ebenfalls einen Widerstand, den man den Widerstand des Mittels nennt. So ist z. B. der Widerstand der Luft für die Bewegung der Waggons auf Eisenbahnen sehr bedeutend, da er, nach darüber angestellten Versuchen, für einen Waggon, der einige 20 Fuß Quadratfläche, und etwa 16 Fuß Geschwindigkeit hat, auf fast 18 Pfund anzuschlagen, vermindert sich aber etwas bei Zunahme der Wagenzüge. Je größer und dichter ein Körper ist, desto leichter wird es ihm, diesen Widerstand zu überwinden, desto weniger verliert er hierdurch von seiner bewegenden Kraft. Bei großen Maschinen wird daher dieser Widerstand nicht so sehr beachtet, als die Steifigkeit und Unbiegsamkeit der Seile und Ketten. Je dicker ein Seil, je mehr es gedreht ist und je mehr es sich biegen muß, um über eine Rolle oder

Digitized by Google

Walze sich zu wickeln, desto mehr Kraft wird darauf verwandt werden müssen.

§ 90. (Reibung.) Ein Körper, der auf der Oberfläche eines andern Körpers liegt, wird von diesem mit einer gewissen Gewalt gehalten. Diese Gewalt, die bald stärker, bald schwächer ist, setzt sich der freien Bewegung des Körpers entgegen, und wird die Reibung, die Friktion, genannt. Wäre keine Reibung, so müßte ein Körper, der auf einer horizontalen Fläche ruht, dessen Gewicht also von dieser Fläche getragen wird, schon durch die kleinste Kraft in Bewegung gerathen, so wie er, auf einer schiefen Ebene liegend, sogleich vermittelst der Schwere hinabgleiten müßte, die Ebene möchte auch noch so wenig geneigt seyn. In der Erfahrung trifft weder das Eine, noch das Andere zu.

Dieses Phänomen hat seinen Grund einestheils in dem Gefüge der Körper. Bei keinem Körper bildet dieses eine vollkommene Ebene, sondern die einzelnen Theile des Körpers bilden bald Erhöhungen, bald Vertiefungen, und die Oberfläche erhält dadurch eine gewisse Rauhigkeit. Bewegt sich nun ein Körper auf einem andern, so greifen die Erhöhungen und Vertiefungen der rauhen Oberflächen ineinander, und der bewegte Körper muß die Erhöhungen des andern umbiegen oder zerbrechen, und aus den Vertiefungen herausgezogen werden, wodurch nothwendig ein Theil der bewegenden Kraft verloren gehen muß. In der Maschinenlehre wird nur diese Reibung als ein wesentliches Hinderniß der Bewegung betrachtet, obgleich dieses Phänomen noch einen zweiten Grund hat, der aus der Adhäsion der sich berührenden Flächen hervorgeht, und wodurch der Bewegung ebenfalls Widerstand geleistet wird.

Die Größe der Reibung ist unter verschiedenen Umständen auch sehr verschieden, und konnte nur auf dem Wege der Erfahrung bestimmt werden. Je rauher die Flächen sind, und je stärker sie einander drücken, desto größer muß dann natürlich auch die Reibung seyn. Bei sehr schneller Bewegung kann, unter sonst gleichen Umständen, die Reibung sich vermindern, weil da manche Erhöhungen übersprungen, oder leichter umgebogen und abgestoßen werden. Erfahrungen zufolge, ist die Reibung zwischen zwei Oberflächen, die aus einerlei Materie bestehen, größer, als bei solchen, deren materielle Bestandtheile verschieden sind. Holz reibt sich am stärksten auf Holz, Eisen auf Eisen. Sind die Holzarten verschieden, so wird auch die Reibung geringer, z. B. Eichenholz auf Burbaumholz, Rüsternholz auf Apfelbaumholz. Messing reibt sich weniger auf Stahl; Stahl reibt sich weniger auf Stein und Messing, als auf Kupfer und Blei, am wenigsten auf Achat und Diamant. Holz, das in der Richtung seiner Fasern sich bewegt, reibt sich weniger, als wenn die Fasern quer über die Bewegungsfläche hinstreichen. Wärme vergrößert die Reibung der Metalle, Nässe die des Holzes. Glatte Flächen reiben sich weniger, allein bei sehr glatten Flächen nimmt die Reibung wieder zu, weil sich alsdann die Adhäsion vergrößert. Eine rutschende und gleitende Bewegung, wo immer einerlei Stellen der Oberflächen sich berühren, erzeugt eine stärkere Reibung, als eine wälzende, rollende oder drehende Bewegung, weil hier weniger Punkte sich berühren, und die Erhöhungen aus den Vertiefungen immer herausgehoben werden. Bei Maschinen, die sich möglichst leicht bewegen sollen, sucht man daher die gleitende Bewegung überall, wo es angeht, in eine wälzende zu verwandeln, und bedient sich darum so viel als möglich abgerundeter, walzenförmiger Körper. Auch durch gute Schmiermittel, Baumöl, Talg, Seife,

Digitized by Google

Kreide u. a. m. verlieren die reibenden Flächen viel von ihrer Rauhigkeit, und die Reibung wird geringer. Bei Maschinen, die auf Zapfen umlaufen, wird die Reibung sehr vermindert, wenn die Zapfen auf dem Umfang von Rollen oder Scheiben liegen, welche dann selbst wieder über Zapfen laufen. Solche Rollen oder Scheiben nennt man Friktionsrollen, Friktionsscheiben.

Unter den einfachen Maschinen hat der Hebel die geringste Reibung, größer ist sie für Rollen, besonders für kleine Rollen, noch größer für Schrauben, wo sie fast die halbe Kraft beträgt, am größten aber bei'm Keil. Die Ueberwindung der Reibung erfordert allemal eine Kraft, die einem bestimmten Theil der Last gleichkommt, und die Zahl, welche das Verhältniß dieser Kraft zur Last angibt, wird der Reibungscoëfficient genannt, der, wie vorhin erwähnt, zunächst aus Versuchen ermittelt werden muß. Nach Babbage beträgt dieser Coëfficient zum Ziehen eines schweren Wagens auf gut gepflasterten Straßen 0,014, nämlich 33 Pfund auf 2350 Pfund, doppelt so viel auf Chausseen, und auf neuen 4½ mal so viel. Auf Eisenbahnen ist er natürlich viel geringer, doch weichen die darüber angestellten Versuche sehr von einander ab. Nach Gerstner beträgt er 0,006, nach Morin 0,0026, nach Andern ist er wieder ein anderer.

So hinderlich auch die Reibung der Bewegung ist, so hat sie indessen auch wieder ihren großen Nutzen. Manche Maschine, z. B. eine Schraube, würde ohne Reibung nicht fest sitzen bleiben, und also wenig nutzen. Ohne Reibung würden die Körper bei weitem nicht so fest stehen, auf einer horizontalen Fläche liegend, sich bei der geringsten Veranlassung schon in Bewegung setzen, und von einer nur wenig geneigten schiefen Fläche sogleich hinabgleiten, was in vielen Fällen gewiß sehr unangenehm wäre. Einen etwas steilen Berg zu besteigen, wäre ohne Reibung gar nicht möglich; wie auf Glatteis, müßte man immer wieder zurückfallen. Durch den Hemmschuh wird die rollende oder wälzende Bewegung in eine gleitende oder schleifende verwandelt, und so die Reibung vergrößert.

Bei gehöriger Aufmerksamkeit wird man bald noch viele Erscheinungen, wobei der Widerstand des Mittels, z. B. bei'm Schwimmen, so wie die Reibung ihren Nutzen gewährt, wahrnehmen, und so inne werden, daß auch hier, wie immer, die Natur Schaden und Nutzen vollkommen auszugleichen versteht.

---

# Achtes Kapitel.

## Gleichgewicht und Bewegung tropfbar flüssiger Körper.

§ 91. (Tropfen.) Da die Theile eines tropfbaren Körpers oder einer liquiden Flüssigkeit unter sich so lose zusammenhängen, daß sie nach allen nur erdenklichen Richtungen äußerst leicht getrennt und verschoben werden können (§ 19), so kann man sich einen jeden tropfbaren Körper so vorstellen, als wäre er aus einer zahllosen Menge einzelner Körperchen, die unter sich nur schwach zusammenhängen, zusammengesetzt. Jedes dieser Körperchen ist dann für sich allein den Gesetzen der Schwerkraft unterworfen, und muß sich senken. Den Gesetzen der Schwerkraft folgend, sollte aber ein jeder tropfbarer Körper, wie klein er auch seyn mag, von einer

Digitized by Google

senkrechten Fläche bis auf den letzten Theil wie ein Faden herabfließen. Statt dessen zeigt uns die Erfahrung, daß kleine tropfbare Körper in Kugelgestalt herabfallen. Diese Erscheinung, die man Tropfen nennt, und von der diese Art flüssiger Körper ihren Namen hat, beweis't hinlänglich, daß die Theile eines tropfbaren Körpers, obgleich sie nur sehr lose zusammenhängen, sich doch einander wechselseitig anziehen müssen. Da nun die Verschiebbarkeit so groß und die Anziehung durchaus gleichmäßig ist, so drücken alle fallende Theilchen nach einem gemeinschaftlichen Mittelpunkt hin, woraus denn kugelige Tropfen entstehen. Nur dann, wenn auf den von einem tropfbaren Körper herabfallenden Theil noch eine Kraft wirkt, die größer ist, als die Kraft, mit der sich die fallenden Theile einander anziehen, wird die Kugelgestalt abgeändert, mehr oder weniger aufgehoben. Hierzu gehört denn auch, daß die Theile, die von einem tropfbaren Körper herabfallen, einen solchen Umfang haben können, daß die äußersten Theile zu weit vom Mittelpunkte abstehen, wo sie dann von der Schwerkraft stärker angezogen werden, als die Anziehung nach dem Mittelpunkte beträgt. Der Tropfen verliert hierdurch seine Kugelgestalt, und wird länglicht. Die Schwerkraft ist demnach der Bildung der Tropfen entgegen, und darum können nahe an der Erdoberfläche, wo sie am stärksten wirkt, nur sehr kleine Massen kugelige Tropfen bilden. Erwägt man aber, daß die Schwerkraft nach dem Quadrat der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnimmt (§ 57), so ist klar, daß auch größere Massen Kugelgestalt annehmen können, je weiter vom Mittelpunkte der Erde die Bildung der Tropfen statt hat, wie dieses schon die großen Regentropfen zeigen.

Ein Tropfen, der in einer Entfernung von der Erde sich bildete, die der Entfernung des Mondes von der Erde gleich wäre, könnte daher noch Kugelgestalt haben, wenn er auch 3600mal größer wäre, als ein Tropfen derselben Art in der Nähe der Erdoberfläche, weil in dieser Weite die Wirkung der Schwerkraft um so viel mal geringer ist. Auf diese Weise läßt sich dann auch eine Entfernung denken, die von dem Mittelpunkte der Erde so weit ist, daß in ihr kugelrunde Tropfen sich bilden können, derer Größe der Erdkugel selbst gleich kommen müßte. Ist die Vorstellung, daß die Erde im Anfange ihrer Bildung in einem durchaus flüssigen Zustande war, an sich aller Wahrscheinlichkeit nach richtig, so hat sie in diesem Zustande nur als ein bloßer kugelrunder Tropfen in dem unermeßlichen Weltraume geschwebt, und war also im eigentlichen Sinne nur ein „Tropfen am Eimer."

Außer der Schwerkraft wirkt aber auch die Adhäsion der Fläche, an der ein Tropfen haftet, oder auf die er auffällt, auf seine Kugelgestalt ein. Je größer die Adhäsion der Fläche und der Flüssigkeit ist, desto mehr wirkt sie der Kugelgestalt der Tropfen entgegen (§ 27).

Auf dem Phänomen der Bildung kugelrunder Tropfen, wenn die fallende Masse nur klein genug dazu ist, beruht auch das Gießen des Bleischrotes. Man läßt nämlich geschmolzenes Blei durch einen Cylinder laufen, dessen Boden eine Seihe bildet. Aus dieser tröpfelt es in kaltes Wasser ab, und dadurch entstehen die festen Kügelchen, die man Schrot nennt. Je höher sie herabfallen, desto mehr kühlen sie sich im Fallen ab, und desto runder wird ihre Gestalt. In den englischen Schrotgießereien, wo man eigene Schrotthürme von 100 und mehr Fuß Höhe erbaut hat, wird daher auch das Schrot viel runder, als in den gewöhnlichen, gegossen.

Digitized by Google

§ 92. (Dichtigkeit und Preßbarkeit.) Da es viele feste Körper gibt, die von den tropfbaren getragen werden, auf ihnen schwimmen können, so läßt sich hieraus abnehmen, daß diese auch beträchtlich dicht seyn müssen. Mit welcher Gewalt sie sich zu widersetzen vermögen, wenn man sie zusammen zu drücken sucht, haben Versuche hinlänglich bestätigt. Wasser, das man in metallenen Kugeln eingeschlossen hatte, bahnte sich, indem man die Kugeln durch schwere Hammerschläge, oder durch eine Presse zusammendrückte, durch die Poren des Metalls einen Ausweg und zersprengte die Kugeln, wenn es nicht diesen Ausweg finden konnte. Uns gereicht diese Widersetzlichkeit zur großen Wohlthat, und liefert neue Beweise von der Vollkommenheit jeder Naturgabe. Ohne diesen Widerstand würden wir weder Wein, noch Oele, noch sonst irgend eine Flüssigkeit aus dem Körper, in dem sie enthalten ist, auszupressen vermögen. Der Saft in der Beere, in der Olive, im Apfel und in so vielen andern Körpern, würde, ließe er sich zusammendrücken, unter der Presse oder der Kelter nur einen kleinern Raum einnehmen, keineswegs aber aus ihr herausfließen, Labung, Heilmittel und sonstige nutzbare Stoffe uns geben können.

Von allen tropfbaren Körpern das wichtigste, sowohl für die organische als unorganische Natur, besonders aber von ganz unendlich mannigfaltigem Gebrauch für den Menschen, ist unstreitig das Wasser. Wir können dem Schöpfer nicht genug dafür danken, daß dieses unentbehrliche Naturprodukt überall in hinlänglicher Menge und umsonst zu haben ist, da Mangel daran uns verderben und die Erde zur Wüste machen würde. Von Natur aus als tropfbarer Körper gebildet, ist das Wasser in seinem reinen Zustand vollkommen durchsichtig, farbenlos, ohne Geruch und ohne vorherrschenden Geschmack, besitzt aber die allgemeinen materiellen Beschaffenheiten, Trägheit, Schwere, Undurchdringlichkeit und Theilbarkeit. Da das Wasser von vielen Körpern feine Theilchen in sich aufnehmen und mit sich verbinden kann, und ein so wirksames Auflösungsmittel, besonders der Salze, ist, daß viele Naturforscher dadurch sogar seine Porosität darthun wollen, so wird es auch nicht leicht in völlig reinem Zustand in der Natur gefunden, und nur Regen- und Schnee-Wasser, das unter freiem Himmel aufgefangen wird, ist beinahe völlig rein. Quellen-, Brunnen-, Fluß- und Meerwasser enthält immer salzige und andere Stoffe, selbst organische, in sich aufgelöst. Daß das Wasser wirklich ganz unelastisch sey, wie man sonst wohl geglaubt hat, ist durch Versuche zwar widerlegt worden, allein seine Elastizität ist doch so sehr gering, daß eine außerordentliche Gewalt dazu gehört, um es nur um den vier und zwanzigsten Theil seines Raumes zusammen zu pressen. Außer diesen, von Abich und Zimmermann, mit einer trefflich eingerichteten Maschine, von Oersted, Aimé u. A. angestellten Versuchen, läßt sich auch schon daraus auf einige Elastizität des Wassers schließen, daß es fähig ist, den Schall fortzupflanzen, und daß Bleikugeln, die doch selbst nur wenig elastisch sind, wenn sie unter einem spitzen Winkel auf eine Wasserfläche abgeschossen werden, unter demselben Winkel wieder abprallen.

§ 93. (Gleichgewicht.) Der eigenthümliche Charakter der tropfbaren Körper muß nothwendig Umstände herbeiführen, die auf die Bestimmung der Gesetze ihres Gleichgewichts und ihrer Bewegung vielfältigen Einfluß haben. Daher machen auch die Untersuchungen hierüber einen besondern Gegenstand der Naturlehre, noch mehr aber der Maschinenlehre aus.

Wie sehr nun auch die tropfbaren Flüssigkeiten in chemischer Hinsicht

Digitized by Google

und häufig auch durch einen größern oder geringern Grad der Flüssigkeit von einander verschieden sind, so kann man doch, bei der Bestimmung der Gesetze ihres Gleichgewichts und ihrer Bewegung, das Wasser als allgemeinen Stellvertreter zur Grundlage der Untersuchung annehmen, theils darum, weil alle tropfbaren Körper die Haupteigenschaften miteinander gemein haben, theils darum, weil Wasser am leichtesten in jeder beliebigen Menge zu haben ist, und zu Versuchen benutzt werden kann, und endlich auch darum, weil die Gesetze am häufigsten auf Wasser angewandt werden. Für eine oder die andere Flüssigkeit können dann besondere Bemerkungen, wo sie erforderlich sind, die allgemeinen Gesetze, wie sie vom Wasser gelten, näher berichtigen.

Wasser, das von allen Seiten mit festen Wänden umgeben ist, ruht in diesem Behälter, und ist demnach im Gleichgewicht, wenn seine Oberfläche, die man den Wasserspiegel, das Niveau oder die Libelle nennt, vollkommen wagerecht (horizontal) ist. In diesem Falle ist die Richtung frei fallender Körper senkrecht auf den Wasserspiegel. Dieses ist in der That die einzige Bedingung, unter welcher eine Wassermasse im Gleichgewicht ist, die Größe und die Form des Behältnisses hat darauf keinen Einfluß, und es ist daher ganz einerlei, ob es die Wassermasse eines Sees oder eines Trinkglases ist.

Auch dadurch, daß die Wände des Behältnisses die Form des horizontalen Wasserspiegels, vermöge der Affinität, etwas hohl gestalten (§ 28), kann keine so merkliche Abänderung entstehen, daß bei Untersuchungen, die mehr ins Große gehen, darauf Rücksicht zu nehmen wäre.

Setzt man daher diesen, für solche Untersuchungen an sich unbedeutenden Nebenumstand bei Seite, so ist es nicht nur dem Augenschein gemäß, daß der Wasserspiegel eines stillstehenden Wassers vollkommen wagerecht ist, es läßt sich auch, als in der Natur des Wassers gegründet, nachweisen.

Fig. 76.

Denn angenommen, daß in einem Behältniß abcd (Fig. 76.) Wassertheile über den horizontalen Stand sich erheben und einen Wasserberg amb bilden, so können die höher liegende Theile, den Gesetzen der Schwerkraft folgend, nicht ruhig liegen bleiben, sondern müssen, ihrer großen Verschiebbarkeit wegen, von dieser Höhe, wie von einer schiefen Ebene hinabrollen, und dieses so lange, bis der ganze Wasserspiegel in die horizontale Lage ab getreten ist.

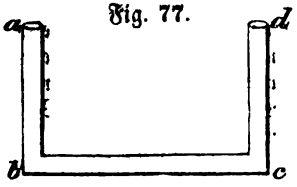
Hat aber ein Wasserspiegel diese Lage wirklich angenommen, so sind nicht nur die Theile, die an der Oberfläche liegen, im Gleichgewicht, die ganze Masse ist es, und es herrscht Ruhe durch alle ihre Theile hindurch. Daß in dieser Lage der Schwerpunkt der ganzen Masse unterstützt seyn müsse, wie dieses bei einem ruhenden festen Körper der Fall ist, kann aus dem Grunde nicht statt haben, weil die unzählige Menge von Theilchen, aus denen die Masse besteht, so lose zusammenhängen, daß jedes Theilchen seinen eigenen Schwerpunkt, unabhängig von jedem andern Theilchen hat, aber an einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt der ganzen Masse noch weit weniger zu denken ist, als an einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt eines Haufens Sandkörnchen. Die Erhaltung des Gleichgewichts muß daher einen andern Grund haben. Diesen aufzufinden, darf man nur die eigenthümliche Natur der tropfbaren Körper berücksichtigen. Bindet man eine wasserdichte Rindsblase, die man erst, damit sie ihre Sprödigkeit verliere,

Digitized by Google

etwas anfeuchtet, an eine ziemlich enge Glasröhre, füllt dann die Blase so weit mit Wasser an, daß es etwas in die Röhre hinein reicht, und senkt die Blase in Wasser ein, so wird man wahrnehmen, besonders wenn man die Vorsicht gebraucht hat, die Blase mit gefärbtem Wasser zu füllen, daß das Wasser in der Blase immer höher in die Röhre hinein steigt, je tiefer die Blase eingesenkt wird. Leere gläserne Flaschen, deren Wände nicht besonders dick und gewölbt sind, die man zugepfropft tief genug einsenkt, werden zerbrechen; sind sie aber mit Wasser gefüllt, so bleiben sie ganz. Hieraus läßt sich abnehmen, daß das Wasser einen Druck ausübt auf Alles, was unter seiner Oberfläche sich befindet. Auf diese Weise drückt dann auch jedes Theilchen einer Wassermasse auf ein anderes, das zunächst unter ihm liegt. Da nun jedes Theilchen der Masse mit eben der Kraft um sich her drückt, mit der es von höher liegenden Theilen gedrückt wird, so wird eins von dem andern getragen, und kann nicht fallen. Ist nun die ganze Masse im Gleichgewicht, so werden alle Theilchen, die nebeneinander liegen und gleichmäßig gedrückt werden, eine Schichte bilden, in welcher kein Theilchen höher liegen kann als das andere, die mithin horizontal seyn muß. Da nun jede einzelne Schichte im Innern der Masse diese Lage haben muß, wenn Gleichgewicht stattfinden soll, so muß für diesen Zustand auch die Lage der Oberfläche horizontal seyn, und in so fern sie dieses ist, müssen sich alle Schichten wechselweise in diesem Zustand auch erhalten.

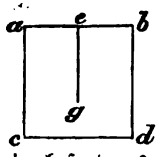
Das Gesetz, daß eine Wassermasse nur dann im Gleichgewicht und in Ruhe seyn kann, wenn der Wasserspiegel völlig horizontal ist, dient allen weitern Untersuchungen über diesen Gegenstand zur Grundlage, und ist daher, so einfach es an sich ist, doch ungemein wichtig und folgereich. Ihm wird aber dadurch eine größere Ausdehnung gegeben, wenn man gewahr wird, daß es nicht nur bei einem einzigen Behältniß, von dem man ausgegangen ist, seine Richtigkeit hat, sondern auch dann noch vollkommen wahr bleibt, wenn mehrere Behältnisse so miteinander verbunden sind, daß das Wasser aus dem einen freien Uebertritt in das andere hat. Dergleichen Behältnisse und Gefäße nennt man allgemein *communicirende Röhren*, wenn gleich ihre Gestalt nicht immer eigentlich röhrenförmig ist, und jedes einzelne Behältniß, das Communication mit einem andern hat, wird dann ein *Schenkel* genannt. Steht in allen Schenkeln die Wassermasse gleich hoch, so ist Alles im Gleichgewicht. In diesem Falle liegen auch die Oberflächen der Wassermassen in allen Schenkeln in derselben Horizontalebene. Versuche, die man mit zwei Glasrohren abcd (Fig. 77) anstellen kann, zeigen augenscheinlich, daß im Zustand des Gleichgewichts in jedem Schenkel die Wassermasse gleich hoch steht, und reichen wohl schon hin, die Richtigkeit dieses Gesetzes wahrzunehmen. Indessen läßt sich auch die Nothwendigkeit dieser Erscheinung aus Vernunftschlüssen einsehen, und sich auf den Zustand des Gleichgewichts in einem einzigen Behältniß zurückführen. Diese Betrachtung dringt sich einem, mit einiger Aufmerksamkeit, gleichsam von selbst auf. Denn gesetzt, abcd (Fig. 78) sey ein mit Wasser angefülltes Gefäß, in welchem der Spiegel horizontal und Alles in Ruhe ist, so müßte doch wohl dieser Zustand und die Lage des Spiegels auch dann ungeändert bleiben, wenn man das

Fig. 77.



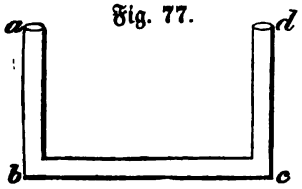

Digitized by Google

Fig. 78.



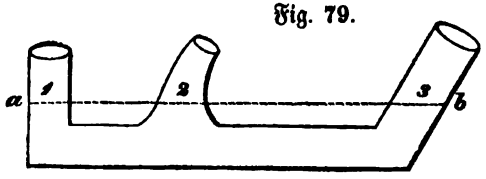

Innere der Wassermasse durch eine feste Wand eg von von einander trennte, ohne die Masse dies- und jenseit der Wand dadurch außer Verbindung zu setzen. Um diese Wand herum müßte doch gewiß, wenn Gleichgewicht seyn soll, das Wasser gleich hoch stehen, und erst dann, wenn die feste Wand bis zum Boden des Gefäßes reicht und so eingeschoben ist, daß dies- und jenseit derselben alle Verbindung aufhört, könnte jeder Theil als ein besonderes Gefäß betrachtet werden, in welchem jede Masse ihre eigne Höhe haben und in Ruhe seyn könnte. Ist denn nun nicht bei communicirenden Röhren gerade derselbe Umstand vorhanden, der bei einer festen Wand, durch welche die Verbindung der Wassermasse nicht unterbrochen wird, stattfindet? Der leere Raum (Fig. 77) zwischen den beiden Schenkeln vertritt vollkommen die Stelle der festen Wand, und hat daher nothwendig denselben Erfolg.

Fig. 77.




So wäre denn die Behauptung, daß im Zustand des Gleichgewichts die Wasserhöhe in den Schenkeln auch gleich seyn müsse, in Beziehung auf zwei Röhren eben so klar, als sie es in Beziehnng auf ein einziges Behältniß ist. Bedenkt man aber, daß man statt einer Wand auch mehrere anbringen kann, und daß zwischen allen Abtheilungen, wie viel deren auch seyn mögen, im Zustand der Ruhe der Wasserstand gleich hoch, und der Spiegel zwischen allen Wänden völlig horizontal seyn muß, wenn die Wände nur nicht die Verbindung der Wassermasse unterbrechen; bedenkt man ferner, daß in diesem Falle eine Abtheilung größer, eine andere kleiner, eine Wand gerade, eine andere schief, eine dritte gekrümmt seyn kann, mit einem Worte, daß die Größe, die Menge und die Form der Wände, in so fern sie nur keine Unterbrechung der Wassermasse veranlassen, gar keinen Einfluß auf den Zustand des Gleichgewichts zwischen den Abtheilungen, die sie in dem Behältnisse bilden, haben können, und daß der leere Raum zwischen communicirenden Röhren die Stelle dieser Wände vertritt: so ist klar, daß im Zustand der Ruhe das Wasser in allen Schenkeln gleich hoch stehen muß, es mögen noch so viele Röhren miteinander verbunden und sie an Weite und Form noch so sehr verschieden seyn. Es kann (Fig. 79) die eine Röhre weit, die andere eng, eine Röhre senkrecht, eine andere schief stehen, eine dritte mannigfach gekrümmt seyn, immer muß das Wasser in allen gleiche Höhe haben, wenn es im Zustand der Ruhe seyn soll. Steht es in der ersten Röhre bis an a, so muß es in der zweiten und dritten eben so hoch stehen, und eine gerade Linie ab, welche durch die obersten Punkte des Wasserspiegels geht, muß völlig horizontal seyn.

Fig. 79.



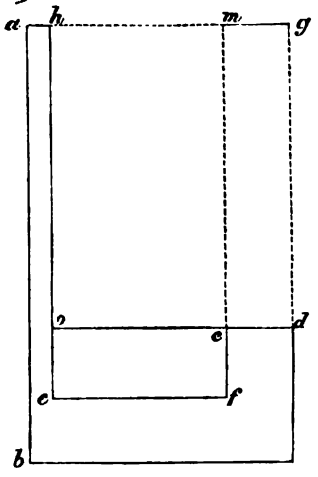

Eine Ausnahme von diesem Gesetze kann nur dann eintreten, wenn einer der Schenkel ein Haarröhrchen ist. In einem solchen muß dann allerdings, vermöge der Capillarattraction (§ 28), das Wasser höher als in den weitern Schenkel stehen.

Digitized by Google

Abgesehen von dieser Ausnahme, kann man von diesem Gesetz allerlei Anwendungen machen, und es zur Erklärung mancherlei Naturerscheinungen benutzen. Auch bedient man sich seiner, um die Abweichung eines Bodens von der Horizontallinie zu finden, was man das Nivelliren nennt. Da nämlich eine gerade Linie, welche die Wasserhöhe in zwei communicirenden Röhren miteinander verbindet, horizontal seyn muß, so ist es auch jede andere, die mit ihr gleichlaufend ist. Jede Abweichung davon ist dann nicht mehr horizontal. Noch sicherer findet man die Abweichung von der Horizontallinie durch die Wasserwage. Dieses Instrument besteht aus einer geschlossenen gläsernen Röhre, die mit Wasser oder Weingeist gefüllt ist und horizontal in einem Gestelle liegt. Ueber dem Wasser oder dem Weingeist schwimmt eine ziemlich große Luftblase, und diese liegt in der Mitte der Röhre, wenn sie genau horizontal steht.

§ 94. (Druck.) Aus dem Gleichgewichtsgesetze ergibt sich, daß Wasser, welches in einer communicirenden Röhre auf einer Höhe steht, zu der es in der andern, weil sie kürzer ist, nicht gelangen kann, auch nicht in Ruhe seyn kann; es wird aus der kürzern so lange ausfließen, bis es in beiden Röhren einen gleich hohen Stand erreicht hat. Ist aber die kürzere Röhre verschlossen, und dadurch das Wasser auszufließen verhindert, so wird es auf den Deckel, der ihm den Ausgang wehrt, einen Druck ausüben. – Daß die Größe dieses Druckes von der Wassermenge abhängen müsse, die in dem langen Schenkel enthalten ist, daß mithin das Wasser in einem fünfmal weitern Schenkeln auch einen eben so vielmal größern Druck auf den Deckel des kürzern Schenkels hervorbringen werde, möchte leicht bei'm ersten Anblick als Grundlage zur Berechnung des Druckes erscheinen. Man wird jedoch von dieser irrigen Vorstellung bald zurückkommen, wenn man den Zustand des Gleichgewichts in communicirenden Röhren, von dessen Störung allein der Druck herrührt, näher ins Auge faßt. Gesetzt, ein enger Schenkel oh (Fig. 80) communicire mit einem weiten Schenkel, der in d abgeschnitten und mit einem Deckel cd versehen ist. Steht das Wasser im engen Schenkel bis an a, mithin um oh höher, als in dem weiten, so fehlt zum Zustand des Gleichgewichts in diesem eine Wassersäule cmgd, die cd zur Grundfläche und oh zur Höhe hat. So stark nun diese Wassersäule auf ihre Unterstützung zurückdrücken würde, wenn Gleichgewicht vorhanden wäre, so stark ist jetzt auch der Druck, der aufwärts gegen den Deckel stattfindet. Von der Grundfläche dieses Deckels und von der Höhe des über ihm in dem engen Schenkel stehenden Wassers hängt demnach allein die Größe des Druckes ab. Daher denn eine geringe Wassermasse, die einen engen, aber hohen Schenkel ausfüllt, auf den Deckel des Gefäßes, mit dem sie communicirt, einen weit stärkern Druck ausüben wird, als eine größere Wassermasse auf ihn auszuüben im Stande ist, wenn der Schenkel, durch den sie mit dem Gefäß communicirt, weit, aber niedrig ist. Die Berech-

Fig. 80.






Digitized by Google

nung über die Größe des Druckes, den der Deckel zu erleiden hat, erfordert demnach die Bestimmung des körperlichen Inhalts der Wassersäule, die zum Zustand des Gleichgewichts noch fehlt, und dieser körperliche Inhalt wird gefunden, wenn man den Flächenraum (Quadratinhalt) des Deckels mit der Höhe, die das Wasser, von dem Deckel an, in dem andern Schenkel hat, multiplicirt. Ist der körperliche Inhalt der Säule auf diese Weise in Kubikfuß oder Kubikzoll bestimmt, und man weiß, wie viel ein Kubikfuß oder ein Kubikzoll Wasser wiegt, so kann man dann auch den Druck nach seinem ganzen Gewicht bestimmen.

Beispiele. 1) Die Grundfläche des Deckels cd sey 4 Quadratfuß, und oh sey 7 Fuß. Der körperliche Inhalt der Säule ist demnach 28 Kubikfuß. Wäge ein Kubikfuß dieses Wassers 70 Pfund, so wäre der Druck auf den Deckel 28mal 70 Pfund = 1960 Pfund.

2) Ist oh nur 5 Fuß, so wäre der körperliche Inhalt der Säule nur 20 Kubikfuß, und der Druck auf den Deckel nur 20mal 70 Pfund = 1400 Pfund, wenn schon der Schenkel ab viel weiter wäre, als im ersten Beispiele.

Durch diese Berechnung erhält man Aufschluß über mancherlei auffallende Phänomene.

1) Der anatomische Heber. Freiherr von Wolf erfand ihn um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts; er besteht aus einer langen und engen Röhre ab (Fig. 80. S 161), die mit einem weiten und kurzen kreisförmigen Gefäße communicirt, und kann zur Untersuchung der Structur der Blasen, Gedärme und anderer häutigen Substanzen gebraucht werden, woher er auch seinen Namen hat. Bindet man über die Oeffnung des Gefäßes eine Blase, und füllt dann die lange Röhre mit Wasser an, so wird die Blase nach und nach so ausgedehnt, daß sie die Form einer Halbkugel bekommt. So ausgedehnt, läßt sich das oberste Häutchen der Blase leicht ablösen, und das zarte Gefüge derselben sichtbar machen. Wolf machte hierbei noch die interessante Bemerkung, daß, der starken Ausdehnung der Blase ungeachtet, doch kein Wasser durch sie drang, wenn sie mit ihrer innern Fläche dem Wasser zugekehrt war. Berührte aber ihre äußere Fläche das Wasser, so schwitzte es so stark durch, daß es abfloß. Bei einem Ochsenmagen und den Häuten verschiedener Thiere wurde dieselbe Eigenschaft wahrgenommen.

Der Druck des Wassers auf die Blase läßt sich leicht berechnen. Man suche zuerst den Quadratinhalt des kreisförmigen Gefäßes. Hat dieses einen Durchmesser von 5 Zoll, so ist sein Halbmesser $^5/_2$ Zoll, und dessen Quadrat $^{25}/_4$ Zoll. Multiplicirt man dieses Quadrat mit 3,14, so erhält man $^{157}/_8$ Quadratzoll; dieses ist der Quadratinhalt des Gefäßes, also auch der des Deckels, oder der aufgespannten Blase. Steht ferner das Wasser in der Röhre, die mit dem Gefäße communicirt, 10 Schuh = 120 Zoll höher, als im Gefäße, so ist der körperliche Inhalt der Wassersäule, die auf die Blase drückt = $^{157}/_8 \times 120 = 2355$ Kubikzoll. Wäge ein Kubikzoll dieses Wassers $^1/_{25}$ Pfund, so wäre das Gewicht der ganzen Säule, mit der sie aufwärts gegen die Blase drückt, beinahe 100 Pfund. Die lange Röhre kann dabei so eng seyn, daß die Wassermenge, die sie enthält, für sich allein vielleicht erst 1 bis 2 Pfund wiegt.

2) Der hydrostatische Blasebalg. s'Gravesande, ein holländischer Physiker aus dem achtzehnten Jahrhundert, ist der Erfinder; er besteht aus einem weiten Behältniß von wasserdichtem Leder, von der Form eines

Digitized by Google

Blasebalgs. In der Mitte des Blasebalgs sitzt eine acht oder mehr Fuß lange enge Röhre von Blech, aus welcher das Wasser, wenn sie gefüllt wird, in den Blasebalg laufen kann. Personen oder Gewichte, die auf dem Deckel des Blasebalgs stehen, werden, wenn der Blasebalg und die enge Röhre mit Wasser angefüllt sind, von dem Druck des Wassers auf diesen Deckel hinweggehoben, obgleich das Gewicht des Wassers in der engen Röhre gegen das Gewicht, das hinweggehoben wird, unbedeutend ist.

3) Die Zersprengung von Cisternen. Cisternen, in welche das Regenwasser vom Dache durch eine hineingeleitete Röhre sich ergießt, können, wenn sie von oben her verschlossen sind, bei starkem Regen leicht zertrümmert werden. Durch Berechnung kann man sich bald davon überzeugen. Nehme man einmal an, die Cisterne sey 12 Schuh lang und 8 Schuh breit, so hat sie 96 Quadratschuh Grundfläche. Ist die Röhre von dem Dache bis in die Cisterne 36 Schuh lang, so drückt, wenn Cisterne und Röhre voll Wasser sind, auf den Deckel der Cisterne eine Wassersäule, die 96 Quadratschuh zur Grundfläche und 36 Schuh Höhe hat, also 3456 Kubikschuh enthält. Wiegt ein Kubikschuh Regenwasser 66 ℔, so beträgt der Druck auf den Deckel der Cisterne 228096 ℔. Diesem ungeheuren Druck kann natürlich der Deckel nicht widerstehen. Erstaunend ist es, wenn man gegen diesen ungeheuern Druck das geringe Gewicht des Wassers in der Röhre hält, das ihn hervorbringt. Hat die Röhre 2 Zoll Durchmesser, also 1 Zoll Halbmesser, so hat sie, weil das Quadrat des Halbmessers auch 1 ist, 3,14 Quadratzoll; diesen mit der Höhe der Röhre = 36 Schuh = 432 Zoll multiplicirt, gibt 1356,48 Kubikzoll. Rechnet man einen Kubikzoll Regenwasser zu 0,038 ℔, so beträgt das Gewicht des Wassers in der Röhre noch nicht 52 ℔, und also erst den 4386sten Theil von dem Gewicht, mit dem es auf den Deckel der Cisterne drückt.

Selbst Felsenwände müssen dem Druck einer Wassersäule von beträchtlicher Grundfläche und Höhe weichen. Dies kann sich ereignen, wenn im Innern eines Berges Wasser sich sammelt, das keinen Ausfluß findet. Ist der Behälter ziemlich weit, und wird ihm das Wasser durch einen Kanal zugeführt, der sich zu einer nicht unbedeutenden Höhe erstreckt, so wird, wenn beide, Behälter und Kanal, voll sind, die Cohäsion der Felsenwand dem Druck des Wassers nicht mehr zu widerstehen vermögen, der Berg berstet, und große Massen werden losgesprengt. Diese verheerende Erscheinung, die sich zuweilen in gebirgigen Gegenden zuträgt, ist unter dem Namen Erdfall bekannt.

Auch der Druck, den das Wasser auf den Boden des Behältnisses, in dem es enthalten ist, ausübt, läßt sich nur dadurch für alle vorkommende Fälle richtig berechnen, wenn man das Gesetz für den Zustand des Gleichgewichts im Auge behält. Ist das Behältniß durchaus von gleicher Weite, so ist leicht einzusehen, daß alles Wasser, das über dem Boden bis zum Wasserspiegel hin steht, auch unmittelbar auf den Boden drückt. Auf jedem Punkt des Bodens steht alsdann ein Wasserfaden, der auf ihn drückt, und da alle diese Wasserfäden unter sich gleich sind, so ist ihr Gesammtdruck einer Wassersäule gleich, die den Boden des Behältnisses zur Grundfläche, und die senkrechte Wasserhöhe zur Höhe hat. Je mehr Bodenfläche und Höhe zunehmen, desto verhältnißmäßig größer muß auch der Druck werden, den er auszuhalten hat.

Beispiel. Ein cylinderisches oder würfelförmiges Gefäß habe



Digitized by Google

4 Quadratschuh Grundfläche und 3 Schuh Höhe. Ist es mit Wasser gefüllt, so beträgt die über dem Boden stehende Wassersäule 12 Kubikschuh. Wiegt 1 Kubikschuh dieses Wassers 70 ℔, so hat der Boden einen Druck von 12 × 70 ℔ = 840 ℔ auszuhalten. Eben den Druck hat aber auch der Boden eines solchen Gefäßes auszuhalten, wenn es 2 Quadratschuh Grundfläche und 6 Schuh Höhe, oder 12 Quadratschuh Grundfläche und 1 Schuh Höhe, oder 1 Quadratschuh Grundfläche und 12 Schuh Höhe hat.

Ohne Kenntnisse von dem Gesetze des Gleichgewichts der tropfbaren Flüssigkeiten, kann man aber in Beziehung solcher Behältnisse, die nicht von gleichförmiger Weite sind, wie z. B. kegel- und eimerförmige, auf den Gedanken gerathen, daß der Druck des Wassers auf deren Boden von der Wassermenge abhänge, die in dem Behältniß sich befindet. Dieses ist aber keineswegs richtig, und sowohl durch Versuche als durch Vernunftschlüsse läßt sich darthun, daß dieser Druck bei kegelförmigen Gefäßen größer, bei eimerförmigen hingegen kleiner als das Gewicht des Wassers ist, die das Gefäß enthält. In der That, das Gefäß mag kegel- oder eimerförmig seyn, der Druck, den der Boden erleidet, ist doch immer so, als ob es cylinderisch oder würfelförmig, also durchaus von gleicher Weite wäre. Enthält auch ein kegelförmiges Gefäß, das nach oben zu immer enger wird, weniger, und ein eimerförmiges Gefäß, das nach oben zu immer weiter wird, mehr Wasser, als ein durchaus gleich weites, bei gleicher Grundfläche und Höhe enthalten würde, so ist doch unter allen Formen der Druck auf den Boden einer Wassersäule gleich, die den Boden des Gefäßes zur Grundfläche und die senkrechte Wasserhöhe zur Höhe hat.

Beispiel. Ein Gefäß, das unten weiter als oben ist, sey auf 2 Schuh senkrechter Höhe mit Wasser gefüllt, und habe 3 Quadratschuh Grundfläche. Wiegt ein Kubikschuh dieses Wassers 70 ℔, so hat der Boden einen Druck von 6 × 70 ℔ = 420 ℔ auszuhalten. Eben so groß wird auch der Druck auf den Boden eines Gefäßes seyn, das nach oben zu immer weiter wird, wenn seine Grundfläche ein Quadratschuh, und die senkrechte Wasserhöhe darin 6 Schuh beträgt, obgleich die eigentliche Wassermenge in diesem Gefäße viel größer und in jenem viel kleiner als 6 Kubikschuh seyn kann, und nur dann erst wirklich so viel betragen würde, wenn das Gefäß durchaus gleich weit wäre.

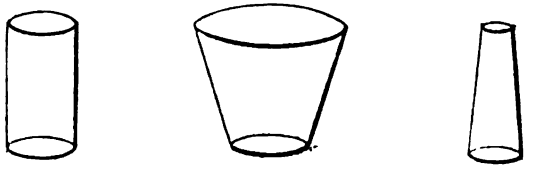
Versuche, welche dieses augenscheinlich machen, lassen sich mehrere anstellen.

1) Mit einem cylindrischen Gefäße. Man hänge ein solches Gefäß an den einen Arm einer Wage, und stelle, durch Auflegung von Gewichten in die Schale des andern Arms, das Gleichgewicht her. Nun fülle man das Gefäß mit Wasser, und lege so viel Gewicht in die Schale, bis die Wage wiederum in das Gleichgewicht kommt. Da das Gefäß cylinderisch ist, so ist der Druck des Wassers auf den Boden gerade so groß, als das zugelegte Gewicht beträgt. Hängt man nun noch einen andern Körper in das mit Wasser gefüllte Gefäß hinein, und sorgt dafür, daß dieser Körper nicht hin und her schwingen kann, so wird ohne weitere Gewichtszulage die Wage ihr Gleichgewicht behalten. Man kann sich aber vorstellen, daß das Gefäß für dieselbe Grundfläche und Höhe eine solche Form hätte, daß es so viel Wasser mehr fasse, als das hineingehängte Gewicht beträgt, und daraus den Schluß ziehen, daß der Druck auf den Boden nur von seiner Grundfläche und von der Höhe des Wassers, die über ihm steht, abhängen müsse.

Digitized by Google

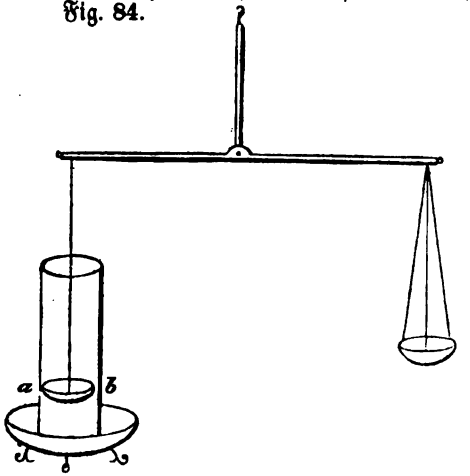
2) Belehrender sind die Versuche, die man mit Gefäßen mit beweglichem Boden anstellt. Drei Gefäße, von denen das eine (Fig. 81) cylinderisch, das zweite (Fig. 82) eimerförmig, und das dritte (Fig. 83) kegel-

Fig. 81. Fig. 82. Fig. 83.



förmig ist, haben gleiche Bodenweite und gleiche Höhe, und lassen sich auf ein anderes kurzes Gefäß von derselben Weite anschrauben. Dieses kurze Gefäß ab (Fig. 84) hat einen beweglichen messingnen Boden, der auf einem mit nassem Leder belegten Ringe ruht. Vermittelst einer Darmsaite, die in der Mitte des beweglichen Bodens fest gemacht ist, läßt sich dieser an den Arm eines Wagebalkens anhängen. Unten hat der Boden einen Ring, um ihn, wenn er auf seinem Gestelle ruht, von unten her anziehen und gegen das Leder drücken zu können, damit kein Wasser herausdringe.

Fig. 84.

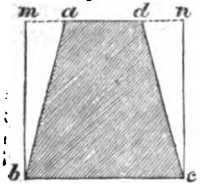



Schraubt man nun das cylinderische Gefäß auf, so muß man, um den fest anliegenden beweglichen Boden in die Höhe zu ziehen, ungefähr eben so viel Gewicht in die andere Schale legen, als das Wasser in dem aufgeschraubten cylinderischen Gefäße wiegt. Schraubt man alsdann das eimerformige, welches mehr, und das kegelförmige, welches weniger Wasser als das cylinderische faßt, auf das kurze Gefäß auf, so wird der bewegliche Boden doch immer von demselben Gegengewicht in die Höhe gezogen. Der Druck auf den Boden war also für alle drei Gefäße derselbe. Man hat jetzt auch noch andere Apparate zu diesen Versuchen, die dasselbe leisten.

Will man aber einsehen, wie es zugehe, daß der Druck auf den Boden eines ungleich weiten Gefäßes von dem eigentlichen Gewicht des Wassers verschieden seyn kann, was man das hydrostatische Paradoxon zu nennen pflegt, so läßt sich dieses aus folgender Betrachtung darthun: In dem Gefäße abcd (Fig. 85), das oben enger als unten ist, drückt das Wasser auf die Wände des Gefäßes, indem diese seiner Ausbreitung nach bc, zum Zustand des Gleichgewichts, Widerstand leisten. Sind nun die Wände fest genug, um diesem Druck zu widerstehen, so drücken sie eben so stark

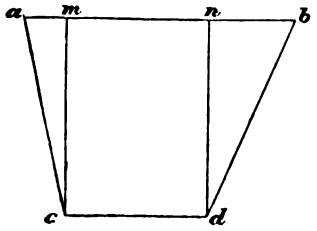
Digitized by Google

Fig. 85.




zurück, als sie gedrückt werden, und der Boden des Gefäßes muß daher neben dem Druck des eigentlichen Wassers auch den tragen, den die Wände zurückleiten. In dieser Hinsicht ist es folglich einerlei, ob die Wassermasse bmnc oder badc auf den Boden drückt. Demnach muß in solchen Gefäßen der Druck auf den Boden größer seyn, als das Gewicht des Wassers im Gefäße ist. In dem Gefäße acdb (Fig. 86) hingegen, das oben weiter als unten ist, drücken die Theile acm und ndb auch gegen die Seitenwände, allein, da sie schon über cd hinaus reichen, so hat das Wasser kein Bestreben, nach dieser Richtung sich auszubreiten, und der Boden hat daher nur den Druck der Wassermasse mcdn auszuhalten, folglich einen geringern Druck als das Gewicht des Wassers beträgt. Nur bei Gefäßen, die durchaus gleich weit sind, kann daher die Größe des Druckes auf den Boden mit dem eigentlichen Gewicht des Wassers im Gefäße zusammentreffen.

Fig. 86.




Auf der großen Wirkung des Wasserdruckes auf den Boden der Gefäße beruht auch die vom Grafen Real erfundene Auflösungs- oder hydraulische Presse. Die Presse dient, um aus gepulverten Substanzen, z. B. aus gemahlenem Kaffee, einen Extract zu machen, ohne sie erst kochen zu lassen, und hat den Vortheil, daß Geruch, Geschmack und Farbe dabei gar keine Veränderungen erleiden. Die Presse besteht aus einem Cylinder abcd (Fig. 87), in welchem zwei Seihen f und e angebracht sind, zwischen welchen die auszupressenden Stoffe Platz finden. Auf den Cylinder läßt sich ein Deckel ab luftdicht anschrauben, und durch den Deckel geht, ebenfalls luftdicht, eine gerade oder gebogene enge Röhre mk von ziemlicher Höhe. Wird diese mit Wasser oder sonst einem Auflösungsmittel gefüllt, so entsteht durch den Druck, der überhaupt Auflösungen befördert, daß die gepulverten Substanzen mit dem Auflösungsmittel sich verbinden, und in die untere Abtheilung h des Cylinders sich ergießen. Aus dieser werden sie durch einen Hahn g abgezapft. Wäre z. B. der Halbmesser des Cylinders zwischen e und f 2, die Höhe bis k 10 Pariser Fuß, so enthält der Cylinder mit der Röhre, wenn mk ganz gefüllt ist, eine Flüssigkeitssäule, deren Druck auf den Boden e eben so groß ist, als er seyn würde, wenn mk mit dem Cylinder gleiche Weite hätte. Der körperliche Inhalt dieser Säule ist aber $2^2 \times 3,14 \times 10 = 125,6$ Kubikfuß und deren Gewicht beträgt, wenn es eine Wassersäule ist, von welcher ein Kubikfuß 70 ℔ wiegt, 8792 ℔. Mit diesem Gewicht wird nun die zwischen e und f eingebrachte Substanz von dem darüber stehenden Wasser gepreßt, während das wenige Wasser in der Röhre mk nur ein geringes Gewicht haben kann. Nimmt man z. B. den Halbmesser der Röhre $= \frac{1}{2}$ Zoll $= \frac{1}{24}$ Fuß an, so wiegt die darin enthaltene Wassersäule nur erst 3, 8 ℔ also erst den 2313ten Theil des Druckgewichts.

Fig. 87.

Digitized by Google

Mit einer solchen Presse könnte man daher einen immer größern Druck ausüben, je länger man die Röhre mk machte. Eine gar zu lange Röhre würde aber zuletzt nicht mehr zu handhaben, mithin von keinem Gebrauche seyn. Sollen nun die Pressungen sehr groß werden, wie sie u. A. bei der Prägung der Metalle seyn müssen, so bedient man sich der hydromechanischen Presse, d. i. einer solchen Presse, bei welcher der innere Druck durch eine von außenher damit verbundene Hebelkraft verstärkt wird. Beträgt z. B. der innere Druck durch die Wassersäule in mk, wie oben berechnet, 8792 ℔, und wirkt dabei noch von außenher ein Hebel, dessen langer Arm, an welchem die Kraft angebracht ist, 10mal größer wäre, als der kürzere Arm, der als Preßkolben dient, so wird schon dadurch auch der Druck 10mal vergrößert, daher 87920 ℔ betragen, wenn an dem langen Arm nur 1 ℔ Kraft wirkte. Mit 10 ℔ Kraft am Ende des langen Hebelarms müßte der Druck schon 100mal größer werden, also den ungeheuren Druck von 879200 ℔ hervorbringen. Die von dem Engländer Bramah erfundene hydraulische Presse von großer Wirkung hat eine ähnliche Einrichtung.

Da eine jede tropfbare Flüssigkeit ihren Druck nach allen Richtungen hin ausdehnt, so drückt sie auch auf die Seitenwände des Gefäßes, in dem sie enthalten ist. Daß ein solcher Seitendruck in der That stattfindet, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man in die Seitenwand eines Gefäßes irgendwo eine Oeffnung macht. Das Wasser wird sogleich aus dieser herausdringen, und hat mithin, ehe die Oeffnung da war, auf diese Stelle gedrückt, und so auf jede andere Stelle, folglich auf die ganze Seitenwand. Aber auch dieser Seitendruck hängt nicht von der im Gefäße enthaltenen Wassermenge ab, sondern von der Größe und der Entfernung der gedrückten Stelle vom Wasserspiegel. Je tiefer ein Punkt der Seitenfläche unter dem Wasserspiegel liegt, desto stärker muß der Druck seyn, den er erleidet. Man kann ihn berechnen, wenn man die gedrückte Stelle als Grundfläche einer Wassersäule betrachtet, deren Höhe von der Mitte der gedrückten Stelle bis zum Wasserspiegel reicht. Ist demnach die gedrückte Stelle ein Quadratzoll groß, und ist von ihrer Mitte bis zum Wasserspiegel 8 Zoll Höhe, so wird diese Stelle von einer Wassersäule, die 8 Kubikzoll hält, gedrückt, deren Gewicht, wenn 1 Kubikzoll $^1/_{25}$ ℔ wiegt, etwa 10 Loth ausmacht. Mehr Schwierigkeit hat es mit der Berechnung des Druckes, den die ganze Seitenwand erleidet. Der leichteste Fall ist der, wo die Seitenwand die Gestalt eines Quadrats hat, oder doch als solches angenommen werden kann. Alsdann beträgt der Druck auf eine Seitenwand gerade halb soviel als gegen den Boden, folglich gegen alle vier Seitenwände doppelt so viel als gegen den Boden. Erleidet der Boden einen Druck von 60 ℔, so wird er auf jede Seitenwand 30 ℔, und auf alle zusammen 120 ℔ betragen. Auch der Seitendruck kann daher so stark werden, daß er Dämme und Schleusen durchbrechen, Mauern einstürzen und Bäume entwurzeln kann.

Hängt ein Gefäß, das mit Wasser gefüllt ist, in lothrechter Lage, so behält es diese Lage nicht bei, wenn man irgendwo eine Seitenöffnung macht. Indem das Wasser aus dieser Oeffnung ausfließt, neigt sich das Gefäß, doch nicht nach der Seite hin, wohin der Ausfluß statt hat, wie vielleicht Mancher wähnt, sondern nach der entgegengesetzten Seite. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, daß die Wand, in welcher keine Oeffnung ist, stärker gedrückt wird, als die Wand, die eine Oeffnung hat,

Digitized by Google

und nach der Seite des stärkern Druckes muß das Gefäß sich neigen. Man nennt diese Erscheinung die Rückwirkung, und auf ihr beruht Segner's Rückwirkungsmaschine oder Segner's Wasserrad. Diese Maschine besteht aus einem Cylinder, der um eine feststehende Achse sich leicht drehen läßt, und an dessen unterm Rande eine Anzahl Röhrchen mit kleinen Seitenlöchelchen angebracht sind. Die Löchelchen gehen alle nach derselben Seite zu. Wird der Cylinder mit Wasser gefüllt, so strömt dieses aus den Löchelchen heraus und der Cylinder dreht sich dann nach der entgegengesetzten Richtung um seine Achse. Ein Engländer (Barker) machte sogar einen größern Gebrauch davon; er verband mit der Achse des Cylinders einen Mühlstein, der sich mit umdrehte und über einem unbeweglichen wegging, und hatte nun eine Wassermühle ohne Zahnrad und ohne Getriebe. Auch expansible Flüssigkeiten äußern solche Rückwirkungen, wie man dieses u. A. auch bei Umdrehung der Feuerräder bei Feuerwerken, bei dem Rückwärtsstoßen der Schießgewehre und der Kanonen wahrnehmen kann.

§ 95. (Bewegung.) Die bisherigen Betrachtungen sind alle auf den Zustand des Gleichgewichts der tropfbaren Körper gegründet, dessen nähere Ausführung dem Abschnitte der Maschinenlehre, den man die Hydrostatik nennt, überlassen bleiben muß. Dieses gilt denn auch von der Bewegung der tropfbaren Körper, die in der Maschinenlehre unter dem Namen Hydraulik abgehandelt wird. Ohne mathematische Auseinandersetzung lassen sich aber von diesem so wichtigen und interessanten Gegenstand kaum die ersten Grundsätze begreifen, und daher auch in diesem Werk nur kurz berühren.

Die Bewegungen des Wassers entstehen theils unmittelbar durch die Natur, theils werden sie künstlich erzeugt. Unmittelbar durch die Natur bewegt sich das Wasser, das als Regen niederfällt, das in Quellen, Bächen und Strömen fließt, wozu denn auch die Strömungen des Oceans, die Ebbe und Fluth und die Wellenbewegungen gehören. Durch die Kunst bewegt sich das Wasser in Kanälen, in Wasserleitungen und in den Wasserkünsten. Im Ganzen sind aber die Natur- wie die Kunstbewegungen denselben Gesetzen untergeordnet.

Bewegten sich alle Wassertheile mit gleicher Geschwindigkeit und nach derselben Richtung, wie dieses der Fall ist, wenn ein fester Körper sich bewegt, so würden die Gesetze dieser Bewegungen auch mit denen der festen Körper übereinstimmend ausfallen, und unter gleichen Umständen gleiche Erfolge für flüssige, wie für feste Körper stattfinden. Dem ist aber nicht so. Wenn Wasser sich bewegt, entstehen im Innern der Masse noch besondere Bewegungen, deren Einfluß auf die Hauptbewegung schwer zu ergründen und nicht leicht zu berechnen ist, und die von Kräften herrühren, die in Beziehung auf die Hauptbewegung nicht wirksam zu seyn brauchten.

(1. Bewegung des Wassers aus Behältern.) Aus dem Zustand des Gleichgewichts weiß man, daß ein jeder Punkt in einer Wassermasse, der unter dem Wasserspiegel liegt, das Gewicht eines über ihm stehenden Wasserfadens zu tragen hat, und daß er eben dadurch einen desto größern Druck erleidet, je tiefer er unter dem Wasserspiegel liegt. Entsteht nun in dem Boden oder der Seitenwand des Behältnisses eine Oeffnung, so fließt aus ihr das Wasser ab, und muß, je tiefer die Oeffnung unter dem Wasserspiegel ist, mit desto größerer Geschwindigkeit ausfließen. Da dieses, wie leicht zu erachten, eine Folge des zunehmenden Druckes, der Druck

Digitized by Google

aber eine Wirkung der Schwerkraft ist, so kommt es bei der Untersuchung über die Bewegung des Wassers (der tropfbaren Flüssigkeiten) hauptsächlich darauf an, zu bestimmen, mit welcher Geschwindigkeit sie erfolgen würde, wenn sonst keine anderen Kräfte, als nur allein die Schwerkraft und der durch sie bewirkte Druck, dabei im Spiele wären. Sinnliche Wahrnehmungen hierüber lassen sich durch zwei Gefäße erlangen, die am Boden gleich große Oeffnungen haben. Welchen Einfluß der lothrechte Druck, den man die Druckhöhe nennt, auf die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers hat, läßt sich dann durch Versuche ausmitteln. Steht das Wasser in dem einen Gefäß viermal so hoch als in dem andern, so fließt in derselben Zeit doppelt, steht es neunmal so hoch, so fließt in derselben Zeit dreimal; steht es sechzehnmal so hoch, so fließt in derselben Zeit viermal so viel Wasser aus dem einen, als aus dem andern Gefäße. Die in derselben Zeit aus beiden Gefäßen ausströmenden Wassermengen verhalten sich demnach wie die Quadratwurzeln aus den beiden Wasserhöhen. Hierbei ist aber zu bemerken, daß dieses nur stattfindet, wenn beide Gefäße mit demselben Wasser (mit einerlei Flüssigkeit) gefüllt sind, und daß durch sanften Zufluß das Wasser in beiden Gefäßen auf seiner ursprünglichen Höhe erhalten wird. Nur unter der letztern Voraussetzung bleibt die Druckhöhe unverändert, und nur dann kann das Wasser mit gleichförmiger Geschwindigkeit aus einem Gefäße ausfließen. In diesem Falle muß sich aber auch die gegenseitige Geschwindigkeit, mit der das Wasser aus jedem Gefäße ausströmt, wie die Wassermengen, mithin wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen verhalten. Dieses Gesetz dient der ganzen Hydraulik zur Grundlage.

Vergleicht man dieses Gesetz mit dem, daß der Druck auf einen Punkt in einer Wassermasse nach der Tiefe seiner Lage unter dem Wasserspiegel zunimmt, so scheint es auf den ersten Anblick sonderbar, daß die Geschwindigkeit, welche doch aus dem Drucke hervorgeht, ein anderes Gesetz befolgt. Dieses läßt sich aber aus der Vergleichung der bewegenden Kraft mit der Masse und der Geschwindigkeit bald erklären. Man weiß, daß die bewegenden Kräfte sich verhalten, wie die Produkte, welche entstehen, wenn man jede Masse mit ihrer Geschwindigkeit multiplicirt (§ 34). Erfolgt nun, wie dieses hier der Fall ist, die Bewegung mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so ist jede Masse selbst ein gleich vielfaches ihrer Geschwindigkeit. Fließt aus dem einen Gefäß in irgend einer Zeit 20 Pfund mit einer Geschwindigkeit von 5 Fuß in einer Sekunde ab, und hat die Masse, die aus dem andern Gefäße fließt, eine Geschwindigkeit von 8 Fuß in einer Sekunde, so wird in eben der Zeit 32 ℔ ausströmen, nämlich $5 : 8 = 20 : x$, also $x = 32$. Die bewegenden Kräfte verhalten sich daher wie $5 \times 20$ zu $8 \times 32$ oder wie $5 \times 5 \times 4$ zu $8 \times 8 \times 4$ also wie das Quadrat von 5 zum Quadrat von 8, welches die Quadrate der Geschwindigkeiten sind. Die Geschwindigkeiten selbst müssen sich daher wie die Quadratwurzeln aus diesen Quadraten verhalten. Da nun die bewegende Kraft in der verschiedenen Druckhöhe besteht, so müssen sich die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus diesen Höhen verhalten.

Was hier in Zahlen als ein einzelner Fall aufgeführt ist, läßt sich auch allgemein darstellen.

Da nämlich:

$$a : b = cm : gp \text{ (§ 34)}$$

und hier $p = ng$ seyn muß, wenn $m = nc$ ist, d. h. p ein eben so vielfaches von g, als m von c ist, so ist auch:

$$a : b = ccn : ggn = c^2 : g^2$$

Digitized by Google

folglich:

$$\sqrt{a} : \sqrt{b} = c : g.$$

Auch müßte, wenn bei'm Ausfluß des Wassers aus einem Gefäße keine anderen Kräfte als nur allein die Schwerkraft wirkte, zwischen der Geschwindigkeit des ausfließenden Wasserstrahls und dem freien Fall der Körper eine Uebereinstimmung herrschen. Es müßte demnach die Geschwindigkeit, mit der ein Wasserstrahl bei einer bestimmten Druckhöhe ausfließt, gefunden werden, wenn man diese Druckhöhe mit der Fallhöhe der ersten Sekunde für den freien Fall (15 Pariser Fuß) multiplicirt, aus dem Product die Quadratwurzel zieht und diese doppelt nimmt (§ 64, wo $m = 2\sqrt{gs}$).

Die Druckhöhe sey $166\frac{2}{3}$ Fuß; diese mit 15 multiplicirt $= 2500$; die Quadratwurzel daraus ist 50; diese doppelt genommen ist 100. Demnach ist die zu dieser Druckhöhe gehörige Geschwindigkeit 100 Fuß.

Zahlreiche Versuche, die man mit Hülfe tauglicher Apparate über diese Grundgesetze der ganzen Hydraulik angestellt hat, liefern eben so viele unzweideutige Beweise, daß in der Wirklichkeit ihnen keineswegs entsprochen wird, und daß mithin, außer der Schwerkraft, noch viele andere Kräfte bei der Bewegung des Wassers wirksam seyn müssen. Der sorgfältigsten Bemühungen ungeachtet gehört die Bestimmung des Einflusses dieser Kräfte und die allgemeinen Gesetze, nach denen sie wirken, noch in vielen Stücken zu den unaufgelösten Aufgaben. Hierher gehört dann:

1) Der Widerstand der Luft, den das ausfließende Wasser zu beseitigen hat.

2) Die Reibung des ausfließenden Wassers an den Wänden des Gefäßes und in der Ausflußöffnung.

3) Die Bewegungen innerhalb der Wassermasse, die im Ausflusse begriffen ist. Je unregelmäßiger das Gefäß ist, desto mannigfaltiger sind diese inneren Bewegungen. Durch leichte Körperchen, z. B. gepülvertes Siegellack, die man auf das Wasser streuet, kann man diese Bewegungen, wenn das Gefäß von Glas ist, wahrnehmen.

4) Die Gestalt des ausfließenden Strahles, die ihm eben durch die inneren Bewegungen ertheilt wird, und wodurch der Durchmesser des Strahls von dem Durchmesser der Ausflußöffnung abweicht.

5) Adhäsion und Affinitäts-Kräfte.

6) Die Ausflußöffnung selbst, und ob das Wasser durch sie unmittelbar abfließt, oder erst durch Ansatzröhren geht. Ist Letzteres, so kommt es noch darauf an, ob die Gestalt der Röhre mit der Gestalt des Wasserstrahls übereinstimmt oder nicht, ob die Röhre gerade oder gekrümmt ist, ob sie sich nach der Mündung hin verengert oder erweitert.

Diese Hindernisse erklären dann auch, warum springende Wasser nie die Höhe erreichen, die sie nach den Gesetzen des Gleichgewichts in communicirenden Röhren erreichen müßten. Wenn man nämlich Wasser aus einer höher liegenden Gegend durch Röhren nach einer tiefer liegenden hinleitet, und zuletzt eine weite Ausgußröhre ansetzt, so fließt es durch diese so lange ab, so lange die höher liegende Gegend es nicht an Zufluß fehlen läßt. Dieß ist aus dem Gesetz des Gleichgewichts in communicirenden Röhren leicht zu erklären, und eben hierauf gründet sich die Anlage eines Röhrbrunnens. Selbst über Anhöhen hinweg, und auf jedes Stockwerk eines Gebäudes hinauf kann man das Wasser leiten, wenn nur die Quelle eine höhere Lage hat, als die Anhöhe oder das Stockwerk ist. Ist aber die Ausgußröhre mit einer so engen Oeffnung versehen, daß das Wasser nur

Digitized by Google

in geringer Menge aus ihr herausdringen kann, so bildet sich durch das gewaltsame Hervordringen der Wassertheile ein in sich zusammenhängender Wasserstrahl. Hierauf gründet sich die Anlegung von Springwerken und Wasserkünsten. Je höher der Ort liegt, aus dem das Wasser nach der Sprungöffnung fließt, desto höher muß auch der Wasserstrahl emporspringen, ja er müßte die Höhe jenes Ortes erreichen, wenn nicht so mächtige Hindernisse ihn davon abhielten. Bei solchen Springwerken kommen sogar noch eigene Hindernisse hinzu. Denn nicht nur, daß die vorderen Wassertheile die hinteren zurückdrücken, viele von ihnen fallen auch, vermöge der Schwerkraft, früher herunter, und nehmen andere, die hinter ihnen herkommen, mit zurück. Eben darum ist auch allemal der erste Sprung, bei Oeffnung der Röhre, höher als die nachfolgenden sind. Versuche haben dargethan, daß der Strahl höher wird, wenn er dnrch eine kleine Oeffnung in einer dünnen Platte geht, und wenn das Wassee nicht ganz lothrecht springt. Sieben Achttheile der Druckhöhe ist wohl das Höchste, was sich für den emporspringenden Wasserstrahl mit möglichster Sorgfalt erreichen läßt.

Als eine besondere Merkwürdigkeit sind hier noch die Brunnen zu erwähnen, die neuerlich so viel Aufsehen erregt haben und mehrfach angelegt wurden, und die von der französischen Provinz Artois, wo sie zuerst und häufig in den Gang kamen, artesische Brunnen genannt werden. Die Brunnen bestehen aus einem 60, 100 und mehrere Fuß tief in die Erde gehenden Bohrloch, aus welchem, vermittelst Röhrenansätze, vortreffliches Wasser, das durchschnittlich eine Wärme von 10 Grad nach Reaumur hat, kräftig und reichlich herausströmt. Die Anlegung eines solchen Brunnens beruht auf denselben hydrostatischen Gesetzen, wie die der Springwerke überhaupt, und ist daher nur da möglich, wo höher und tiefer liegende wasserreiche Höhlen mit einander in Verbindung sind, und diese finden sich besonders in Kalksteingebirgen, in Gegenden, die aus abwechselnden Lagern von Kalk, Mergel und Thon bestehen.

(II. Wellenbewegung.) Wird der Zustand des Gleichgewichts in communicirenden Röhren gestört, so daß die Wassersäulen ihre gleiche Höhe verlieren, so entsteht ebenfalls Bewegung, indem die Säulen auf- und abwärts in pendelartige Schwingungen gerathen. Die allmähliche Wiederkehr der Ruhe wird bewirkt durch die Adhäsion des Wassers an den Wandungen der Röhren, den Widerstand der Luft und allerlei andere äußere Ursachen. Nach Newton ist die Schwingungsdauer einer solchen Wassersäule der Schwingungsdauer eines halb so langen Pendels gleich. Manche Aehnlichkeit mit diesen Schwingungen haben die Wellenbewegungen, welche im Wasser und andern tropfbaren und elastischen Flüssigkeiten durch Wind, Stoß, durch Trennung oder Herausheben der Theile derselben, durch einen hineingeworfenen Körper u. s. w. entstehen, und in welche überhaupt alle Körper gerathen können, welche durch Stoß oder Schlag oder durch irgend eine Ursache in dem Gleichgewicht ihrer Theile gestört werden. Hier sey zunächst von der Wellenbewegung der tropfbaren Flüssigkeiten, namentlich des Wassers, die Rede. Geräth Wasser in diese Bewegung, so pflanzt sie sich auch, wegen der leichten Verschiebbarkeit der Theile und durch die Schwere, auf benachbarte Theile der Oberfläche und bis zu einer gewissen Tiefe, in mehr oder weniger Entfernungen, fort, wobei allemal Erhöhungen und Vertiefungen mit einander abwechseln. Jene werden Wellenberge, diese Wellenthäler genannt, so daß eine Welle (Woge, Undulation, Vibration) stets aus einem Berg und einem Thal

Digitized by Google

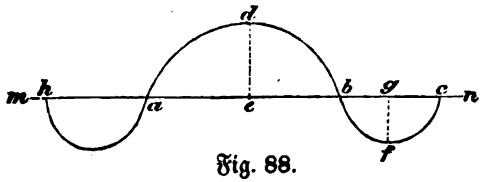


Fig. 88.

zusammengesetzt ist. Bezeichnet mn (Fig. 88) den Durchschnitt einer horizontalen Wasseroberfläche, in welcher Wellen erregt werden, z. B. hdc, so ist adb ein Wellenberg, d dessen Gipfel; bfc ein Wellenthal, f dessen Senkpunkt; adfc eine ganze Welle, und die beiden Höhen ed und fg heißen die Höhe der Welle, und diese bricht sich, wenn sie senkrecht von ihrer Höhe herabfällt; ac heißt die Breite der Welle. Die beiden Höhen theilen eine Welle in Vorder- und Hintertheil, von denen jenes immer die Seite bezeichnet, wohin die Wellen sich bewegen. Wellen heißen fortschreitende, wenn die erste eine zweite, diese eine dritte u. s. w. erzeugt, und stehende, wenn die Wellenerscheinungen an derselben Stelle sich wiederholen, wie in communicirten Röhren.

Da die Gränzen dieses Werks es nicht verstatten, eine gründliche Abhandlung über die mancherlei Verhältnisse der Wellenbewegungen, deren nicht leichte Theorie große Mathematiker beschäftiget hat, auszuführen, so können nur einige wenige Hauptresultate hier Platz greifen, deren nähere Begründungen aus dem vortrefflichen Werk „Wellenlehre von Gebrüder Weber" u. a. ähnlichen entnommen werden müssen.

1) Die Gestalt der Wellen läßt sich schon wahrnehmen, wenn man eine mit Staub bestreute Schiefertafel senkrecht in eine bewegte Flüssigkeit stellt, wobei man auch wahrnimmt, daß die Vordertheile immer die stärksten Krümmungen haben.

2) Die Tiefe, bis wohin die Wellenbewegung reicht, kann, namentlich bei den Meereswellen, auf 80 Fuß gehen, und Gebrüder Weber nahmen wahr, daß kleine Wellen sich bis zu einer Tiefe erstrecken können, die das 350fache ihrer Höhe betragen, so daß z. B. eine Meereswelle von 6 Fuß Höhe bis zu einer Tiefe von 2100 Fuß reicht. Stehende Wellen sind ohne merkliche Tiefe.

3) Je mehr eine Wellenbewegung sich erweitert, desto mehr nehmen auch die Wellen an Höhe und Geschwindigkeit ab, je enger aber der Kanal ist, in welchem sie entstehen, desto mehr erlangen sie Höhe und Geschwindigkeit.

4) Werden in einem ruhenden Wasser Wellen erregt, so bilden sich concentrische Kreise, deren Berge und Thäler mit der Entfernung abnehmen, und die nach und nach, vom Mittelpunkt aus, zur Ruhe kommen. Indem aber alsdann die Wellen zurückwirken, wird jede Welle von der ihr zunächst vorangehenden vergrößert. Treffen sie dabei auf schwimmende Körper, so werden diese, je nachdem sie auf Wellenberge oder in Wellenthäler gerathen, sich abwechselnd heben oder senken, aber keine fortschreitende Bewegung machen, woraus ersichtlich, daß eine Wellenbewegung eine bloß oscillirende, aber keine fortschreitende ist. Ist aber das Wasser fließend, so bewegt sich der Mittelpunkt mit den concentrischen Kreisen mit der Geschwindigkeit des Wassers fort, was man an einem schwimmenden Körper sehen kann.

5) Je größer der Körper ist, durch den Wellen erregt werden, und mit je mehr Geschwindigkeit dieß erfolgt, desto breiter und höher werden auch die Wellen, und damit wächst auch ihre Geschwindigkeit. Eben so nimmt diese auch zu, je tiefer das Wasser ist, in welchem sie sich bilden.

Digitized by Google

6) Begegnen sich zwei gleich starke Wellen von gleicher Höhe, die von verschiedenen Stellen ausgehen, so durchkreuzen sie sich, ohne sich zu stören. Treffen sie mit ihren Gipfeln zusammen, so entsteht ein fast doppelt hoher Berg, oder ein fast eben solches Thal, wenn sie mit ihren Senkpunkten zusammentreffen. Begegnen sich aber zwei Wellen im Gipfel und Senkpunkt, deren Richtung nicht genau entgegengesetzt war, so zernichten sie sich gegenseitig. Diese merkwürdige Erscheinung wird die Welleninterferenz genannt.

7) Von einer festen Wand prallen die Wellen unter demselben Winkel wieder zurück, unter welchem sie aufgefallen sind (§ 73). Hat die Wand eine Oeffnung, so gehn zwar die vordern Wellentheile hindurch, allein an der Wand bilden sich, durch Umbiegungen anderer Wellentheile, neue Wellen, was man die Beugung der Wellen nennt. Solche Beugungen kann man auch wahrnehmen, wenn fließendes Wasser dies- und jenseits eines in demselben befindlichen Körpers vorbeiströmt, und Wirbel bildet.

8) Die Meereswellen bei mäßigem Winde haben eine Geschwindigkeit von etwa 48 Pariser Fuß in einer Sekunde, wobei sie eine Höhe von 6 bis 8 Fuß erreichen. Die merkwürdige Erscheinung Wellen durch darüber gegossenes Oel zu besänftigen, ist schon längst und vielfach bekannt. Die Ursache dieser Erscheinung scheint darauf zu beruhen, daß das Oel die Wasseroberfläche glättet, und dadurch die Wellenbildung stört, und die großen Wellen von dem Wind niedergedrückt werden, indem er über die geglättete Oberfläche streicht.

(III. Bewegung fließender Wasser.) Da über einem schiefen Boden eine Wassermasse, wegen der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theile und vermöge der Schwere, nicht ruhig stehen kann, so muß sie, wie dieses in dem Bett eines Baches und Flusses der Fall ist, nach Verhältniß der Neigung des Bodens, die man das Gefälle nennt, mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit sich bewegen. Die Geschwindigkeit eines fließenden Wassers sollte demnach auch von Sekunde zu Sekunde nach den Gesetzen des Falles auf einer schiefen Ebene wachsen (§ 62). Versuche haben aber dargethan, daß sie immer kleiner ist, als sie dem Gefälle nach seyn müßte, ja daß es Umstände geben könne, wo die Bewegung sogar eine gleichförmige seyn kann. Außer durch die Adhäsion des Wassers an dem Boden und den Wandungen des Bettes (Rinnsales), und durch die Cohäsion der Wassertheile unter sich, wird die Bewegung auch noch verzögert durch die Reibung an den Wandungen der Ufer, den Widerstand der Luft, durch Anschwellungen von Sand, Steinen, schlammigen und erdigen Stoffen, überhaupt durch mancherlei äußere und zufällige Ursachen. Eben deßhalb ist auch die Geschwindigkeit eines Flusses sich nicht vollkommen gleich von der Oberfläche bis auf den Boden, sondern allemal etwas unter der Oberfläche am größten, und von da an, auf- und abwärts, immer geringer. Die Geschwindigkeit nimmt aber zu, je mehr das Bett eingeengt wird, und an Krümmungen ist sie allemal an der hohlen Seite größer, als an der erhabenen.

Digitized by Google

# Neuntes Kapitel.

## Specifisches Gewicht.

§ 96. (Erklärung.) Vermöge der Schwere übt ein jeder Körper auf seine Unterlage einen Druck aus, der um so größer ist, je mehr der Körper Volumen hat. Die Größe dieses Druckes heißt das (absolute) Gewicht des Körpers, und mit Hülfe einer Wage kann es bestimmt werden. Wären die materiellen Körper gleich dicht, so würden alle, die dem Volumen nach gleich sind, auch gleiches absolutes Gewicht haben müssen; jeder Kubikzoll der verschiedenartigsten festen und flüssigen Körper müßte immer dasselbe Gewicht haben. Daß dieses nicht der Fall ist, daß die festen, wie die flüssigen Körper, bei gleichem Volumen, doch sehr im Gewicht von einander abweichen, weiß Jeder, der nur einmal das absolute Gewicht eines Körpers mit dem eines andern Körpers, deren Volumen gleich war, verglichen hat. Augenscheinlich haben demnach die materiellen Körper eine sehr verschiedene Dichtigkeit, und enthalten in gleichem Volumen eine verschiedene Menge materieller Theile (§ 12). Gibt man nun das Verhältniß der Massentheile, die in Körpern von gleichem Volumen enthalten sind, in Zahlen an, so nennt man diese Zahlen das specifische oder eigenthümliche Gewicht (die Eigenschwere) der Körper. Weiß man, daß ein Kubikzoll Gold 19, ein Kubikzoll Queckfilber $13\frac{1}{2}$ und ein Kubikzoll Korkholz $\frac{1}{4}$mal so viel wiegt, als ein Kubikzoll reines Waſſer, so geben die Zahlen: 19, $13\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ das specifische Gewicht des Goldes, Queckfilbers und Korkholzes gegen das reine Waſſer an.

Bei gleichem Volumen und verschiedener Dichtigkeit verhält sich demnach das specifische Gewicht zweier Körper, wie sich die absoluten Gewichte verhalten. Wäge z. B. eine Goldmasse 11 Loth und eine Silbermasse von gleichem Volumen 6 Loth, so verhielte sich das specifische Gewicht des Goldes zu dem des Silbers = 11 : 6 = 1,83 : 1, und das des Silbers zum Golde = 6 : 11 = 1 : 0,55. Das specifische Gewicht ist demnach als bloße Verhältnißzahl der absoluten Gewichte, immer nur eine unbenannte Zahl, daher auch ganz unabhängig von dem in jedem Lande üblichen Gewichte.

Als Grundlage zur Bestimmung des specifischen Gewichts aller wägbaren Stoffe hat man zwar das durch Destillation möglichst gereinigte Regenwaſſer, von einem bestimmten Wärmegrad, allgemein angenommen, als Einheit, nach welcher das Verhältniß der Massentheile für Körper von gleichem Volumen angegeben wird, überträgt sie jedoch für die ausdehnsamen Flüssigkeiten auf die atmosphärische Luft, indem man für die Bestimmung des specifischen Gewichts dieser Flüssigkeiten, die atmosphärische Luft, für einen bestimmten Druck und Wärmegrad, als Einheit anzunehmen pflegt.

Viele Naturforscher haben über die specifischen Gewichte der Körper sehr genaue Untersuchungen angestellt, und in größeren physikalischen Schriften findet man umständliche Verzeichnisse darüber. Folgender Auszug daraus enthält das specifische Gewicht der am meisten bekannten Körper.

Setzt man das specifische Gewicht eines bestimmten Volumen reinen

Digitized by Google

Wassers, z. B. eines Kubikzolls oder Kubikfußes, als Einheit, also 1 an, so wiegt ein eben solches Volumen: Gold $19^1/_4$, Queckſilber $13^1/_5$, Blei $11^2/_5$, Silber $10^1/_5$, Kupfer $8^9/_{10}$, Meſſing $8^2/_5$, Eiſen $7^1/_5$, Stahl $7^{19}/_{25}$, Zink 7,86, Zinn $7^1/_4$.

Kreide $2^1/_4$, Töpferthon $1^1/_5$ bis 2, Feuerſtein $2^3/_5$, Bimsſtein $^9/_{10}$, Meerſchaum $1^1/_5$, Diamanten $3^1/_2$, Bernſtein $1^5/_{100}$, Steinkohlen $1^1/_4$ bis $1^1/_2$, gemeines Glas $2^1/_2$, Kochſalz $1^9/_{10}$, weißer Zucker $1^3/_5$, altes Eichenholz $1^3/_5$, friſches Eichenholz $^9/_{10}$, Buchen $^{85}/_{100}$, Tannen $^1/_2$, Korkholz $^1/_4$.

Federharz $^9/_{10}$, Butter $^9/_{10}$, Elfenbein $1^1/_5$, Baumöl $^9/_{10}$, Terpentinöl $^8/_{10}$, Rheinwein 1, weißer Franzwein und Seewaſſer $1^2/_{100}$, Champagner $^{98}/_{100}$.

Die Kenntniß des ſpecifiſchen Gewichts der Körper iſt darum für Naturforſchung ſo ſehr wichtig, weil es das einzige Mittel iſt, durch welches die Dichtigkeit der Körper mit einander verglichen und bezeichnet werden kann. Inſofern nämlich das Gewicht eines Körpers aus der Summe aller materiellen Theile beſteht, die in ihm vereinigt ſind, ſo müſſen Körper, die bei gleichem Volumen auch gleiches Gewicht haben, nothwendig auch eine gleiche Menge materieller Theile enthalten, daher gleich dicht ſeyn. Iſt das ſpecifiſche Gewicht des Rheinweins beinahe ſo groß als das des Waſſers, ſo ſind in jeder beliebigen Menge Rheinwein eben ſo viele Weintheile, als in einer eben ſolchen Menge Waſſer Waſſertheile ſind. Haben aber Körper unter gleichem Volumen verſchiedene Gewichte, ſo enthält der ſchwerere mehr materielle Theile, und muß demnach auch dichter ſeyn, als der leichtere iſt. Nach dem Verzeichniß des ſpecifiſchen Gewichts iſt demnach Meerſchaum $1^1/_4$mal, Tannenholz hingegen nur halb ſo dicht als ein gleiches Volumen Waſſer.

§ 97. (Beſtimmung der ſpecifiſchen Gewichte.) Obgleich nun das ſpecifiſche Gewicht nichts Anders iſt, als das Zahlenverhältniß zwiſchen den abſoluten Gewichten der Körper bei gleichem Volumen, ſo hat doch die Beſtimmung deſſelben mehr Schwierigkeiten, und um ſo mehr, je genauer und vollſtändiger das Verhältniß gefunden werden ſoll, als man dem erſten Begriffe nach vermuthet. Für feſte Körper müßte man immer ſo regelmäßige haben, daß ihr Volumen mit großer Genauigkeit geometriſch ausgemeſſen werden könnte, und für flüſſige wären Gefäße erforderlich, deren innerer Raum vollkommen gleich ſeyn müßte. Das Eine wie das Andere iſt äußerſt umſtändlich, und nicht immer mit hinlänglicher Zuverläſſigkeit in Ausführung zu bringen, und die Vergleichung des ſpecifiſchen Gewichts feſter und flüſſiger Körper gegen einander würde daher in vielen Fällen ſehr mangelhaft ausfallen, wenn nicht die Geſetze vom Gleichgewicht des Waſſers einfachere Mittel für dieſe Beſtimmungen darböten.

Wird nämlich ein feſter Körper in Waſſer, das im Gleichgewicht iſt, eingetaucht, ſo muß er eine Waſſermaſſe verdrängen, deren Volumen vollkommen dem ſeinigen gleich iſt. Das Waſſer, das ihn umgibt, wird daher von ihm eben ſo ſtark gedrückt, als vorher von der Waſſermaſſe, deren Stelle der eingetauchte Körper eingenommen hat, gedrückt worden iſt. Da nun im Zuſtand des Gleichgewichts die verdrängte Waſſermaſſe einen eben ſo großen Gegendruck erlitt, als der ihrige ausmachte, ſo iſt jetzt dieſer Gegendruck gegen den eingetauchten Körper gerichtet. Hieraus geht hervor, daß der eingetauchte Körper von zwei Kräften getrieben wird, die einander entgegen wirken. Die eine Kraft, welche in dem Gewicht des Körpers

Digitized by Google

liegt, treibt ihn abwärts, die andere aber, die in dem Gegendruck des Waſſers liegt, treibt ihn aufwärts, und von dem Verhältniß dieſer beiden Kräfte hängt der Erfolg des Eintauchens ab.

Hier ſind daher drei Fälle möglich:

1) Der eingetauchte Körper wiegt gerade ſoviel, als die Waſſermaſſe, deren Stelle er einnimmt. In dieſem Falle wird ſein ganzes Gewicht von dem Gegendruck des Waſſers aufgehoben, ſeine Oberfläche bleibt dann im Waſſerſpiegel liegen, und er ſelbſt muß im Waſſer ſchweben.

2) Der eingetauchte Körper wiegt mehr, als die Waſſermaſſe, deren Stelle er einnimmt. In dieſem Falle muß er zu Boden ſinken. Er kann dieß aber nicht mit ſeinem ganzen Gewicht, ſondern nur mit dem Gewicht, das übrig bleibt, wenn man von ſeinem abſoluten Gewicht das Gewicht der verdrängten Waſſermaſſe abzieht. Dieſer Gewichtsüberſchuß wird das reſpective oder relative Gewicht genannt. Wäre z. B. das abſolute Gewicht eines Körpers 8 Pfund und er verlöre im Waſſer 1 Pfund, ſo würde ſein reſpectives Gewicht noch 7 Pfund ſeyn.

3) Der eingetauchte Körper wiegt weniger als die Waſſermaſſe, deren Stelle er einzunehmen ſtrebt. In dieſem Falle ragt er aus dem Waſſer hervor; er ſchwimmt auf dem Waſſer. So viel das Gewicht der Waſſermaſſe, die er zu verdrängen ſtrebt, größer als ſein eigenes iſt, ſo viel beträgt die Kraft, die ihn über dem Waſſerſpiegel erhält. In dieſem Falle iſt ſein reſpectives Gewicht negativ, ſo wie es in dem erſten Falle Null iſt.

Man drückt dieſes Geſetz auf eine allgemeine Weiſe, die alle drei Fälle enthält, ſo aus: Jeder feſte Körper, den man in eine Flüſſigkeit taucht, verliert darin von ſeinem abſoluten Gewichte gerade ſo viel, als die Flüſſigkeit wiegt, die er aus ihrer Stelle verdrängt.

Von dieſem Geſetz ausgehend, laſſen ſich die ſpecifiſchen Gewichte der Körper mit Hülfe einer hydroſtatiſchen Wage beſtimmen.

Jede gemeine Wage, wenn ſie nur genau gearbeitet und möglichſt empfindlich iſt, kann hierzu gebraucht werden. Damit man aber die Körper für ſich allein in Waſſer eintauchen und darin abwägen kann, müſſen ſie unter die Schale aufgehängt werden können; dieſe iſt daher an ihrer untern Fläche mit einem Häkchen verſehen. Den abzuwägenden Körper bindet man an einen zarten Faden, deſſen Gewicht nur wenig gegen die Maſſe des ganzen Körpers beträgt, und der aus einer Materie beſteht, die mit dem Waſſer faſt gleiches ſpecifiſches Gewicht hat, etwa an ein Pferdehaar.

Auch läßt ſich mit Hülfe einer ſolchen Wage das Geſetz, daß jeder Körper von ſeinem Gewicht ſo viel verliert, als die verdrängte Waſſermaſſe beträgt, durch Verſuche nachweiſen. Um dieſe anzuſtellen, werden zwei metallne Würfel erfordert, von denen der eine maſſiv, der andere hohl iſt, und die ſo gearbeitet ſind, daß der maſſive genau in den hohlen paßt. Erſt beſtimmt man das abſolute Gewicht beider Würfel, dann wird der maſſive in Waſſer getaucht. Iſt er ganz davon bedeckt, ſo hat er einen Waſſerwürfel, der mit ihm gleiches Volumen hat, aus der Stelle verdrängt. Die Wage, die vor dem Eintauchen des Würfels im Gleichgewicht war, hat es nunmehr verloren, und der Arm, an dem die Schale mit dem Gegengewicht hängt, hat ſich geſenkt und iſt daher ſchwerer geworden. Augenſcheinlich rührt dieß von dem Gewichtsverluſt her, den der eingetauchte Würfel erlitten hat. Da aber das Gleichgewicht der Wage ſich wieder

Digitized by Google

herstellt, wenn man den hohlen Würfel mit Wasser füllt, so geht daraus deutlich hervor, daß der Gewichtsverlust bei'm Eintauchen gerade so viel beträgt, als das Gewicht der Wassermasse, die durch den Würfel verdrängt worden ist.

Was das Verfahren betrifft, dessen man sich zur Bestimmung der specifischen Gewichte bedient, so hängt dieses insbesondere von der natürlichen Beschaffenheit und von der Form der Körper ab, ob sie im Wasser auflösbar oder unauflösbar, ob sie fest oder selbst wieder flüssig sind, ob sie aus einem einzigen Stücke bestehen, oder gekörnt und pulverisirt sind, ob sie im Wasser untergehen, schweben oder schwimmen.

I. Das specifische Gewicht eines festen Körpers zu bestimmen, der im Wasser unauflösbar und groß genug zum Anhängen an die hydrostatische Wage ist, dabei im Wasser untergeht.

Man bestimmt zuerst das absolute Gewicht des Körpers, sodann dessen Gewichtsverlust im Wasser. Mit diesem dividirt man in jenes, so gibt der Quotient das specifische Gewicht gegen Wasser an.

Beispiel. Das absolute Gewicht eines Körpers sey 1240 Gran; sein Gewichtsverlust im Wasser 118 Gran. Demnach ist sein specifisches Gewicht $^{1240}/_{118} = 10^{1}/_{2}$.

II. Das specifische Gewicht von solchen Körpern zu bestimmen, die im Wasser untergehen, aber nicht an die Wage zu hängen sind, wie z. B. von Queckſilber oder von festen Körpern, die gekörnt oder pulverisirt sind.

Man nehme ein gläsernes Eimerchen, bestimme dessen absolutes Gewicht und dessen Gewichtsverlust im Wasser. Hierauf fülle man das Eimerchen mit der abzuwägenden Materie, und suche sie, wo es angeht, so fest einzustampfen, daß keine Luft zwischen den Theilchen bleibt. Ist dieß mit gehöriger Sorgfalt geschehen, so bestimme man das absolute Gewicht des gefüllten Eimerchens, dann auch dessen Gewichtsverlust im Wasser. Von diesem Gewichtsverlust zieht man den des leeren Eimerchens ab, so bleibt der Gewichtsverlust der abzuwägenden Materie übrig. Dividirt man damit in das absolute Gewicht der Materie, so zeigt der Quotient deren specifisches Gewicht gegen Wasser an.

Beispiel. Das absolute Gewicht des leeren Eimerchens sey 2600 Gran; sein Gewichtsverlust im Wasser sey 960 Gran. Das absolute Gewicht des gefüllten Eimerchens sey 7400 Gran; sein Gewichtsverlust im Wasser 1440 Gran. Das absolute Gewicht der Materie war demnach = 4800 Gran, und ihr alleiniger Gewichtsverlust = 480 Gran. Daher ihr specifisches Gewicht = 4800 : 480 = 10.

III. Das specifische Gewicht eines festen Körpers zu bestimmen, der im Wasser unauflösbar, auch groß genug zum Anhängen an die Wage ist, der aber auf dem Wasser schwimmt.

Damit er in das Wasser eintauche, verbinde man ihn mit einem andern Körper, der specifisch schwerer als Wasser ist, z. B. mit einem Stück Blei, nachdem man erst sein absolutes Gewicht, so wie das absolute Gewicht des mit ihm verbundenen Körpers bestimmt hat. Sodann bestimme man den Gewichtsverlust des specifisch schweren Körpers für sich allein, nachgehends auch den Gewichtsverlust der Verbindung. Von diesem zieht man jenen ab, so bleibt der Gewichtsverlust des Körpers übrig, dessen specifisches Gewicht man finden will. Dividirt man damit in dessen absolutes Gewicht, so zeigt der Quotient dessen specifisches Gewicht gegen Wasser an.



Digitized by Google

Beispiel. Das absolute Gewicht des Körpers, der specifisch leichter als Wasser ist, sey 100 Gran, und das absolute Gewicht des Körpers, der specifisch schwerer als Wasser ist, sey 2700 Gran. Für sich allein verliere dieser im Wasser 500 Gran, und mit jenem verbunden, sey der gesammte Gewichtsverlust 700 Gran. Der specifisch leichtere Körper hat demnach für sich allein 200 Gran verloren. Daher ist sein specifisches Gewicht gegen Wasser = 100 : 200 = ½.

IV. Das specifische Gewicht von festen Körpern zu bestimmen, wenn sie sehr porös sind, daher bei'm Eintauchen viel Wasser einsaugen.

Erster Fall. Man sucht das specifische Gewicht ohne Rücksicht auf die Poren.

Man bestimme sein absolutes Gewicht, lege ihn dann in Wasser, und lasse ihn so lange darin, bis er voll gesogen ist. Das Wasser der äußern Flächen läßt man ablaufen, oder trocknet ihn, wenn es angehet, äußerlich ab, und bestimmt nun die Zunahme seines absoluten Gewichts. Hierauf wird er in Wasser eingetaucht und sein Gewichtsverlust bemerkt. Mit diesem Gewichtsverlust dividirt man in das absolute Gewicht des Körpers, so zeigt der Quotient das specifische Gewicht des Körpers in Beziehung auf den vorliegenden Fall an.

Beispiel. Das absolute Gewicht des Körpers sey 900 Gran; mit Wasser voll gesogen 1300 Gran. In diesem Zustand verlöre er im Wasser 720 Gran. Demnach ist sein specifisches Gewicht, ohne Rücksicht auf die Poren = 900 : 720 = 1¼.

Zweiter Fall. Man sucht das specifische Gewicht der eigentlichen Masse.

Man verfährt wie im ersten Falle, muß aber vom Divisor, womit man sein absolutes Gewicht dividirt, erst das Gewicht der eingedrungenen Wassermasse abziehen.

Beispiel. Nach dem vorigen Beispiel beträgt die eingedrungene Wassermasse 400 Gran; diese von 720 abgezogen, bleiben 320 übrig. Demnach ist das specifische Gewicht der eigentlichen Masse = 900 : 320 = 2,8125.

V. Das specifische Gewicht von festen Körpern zu bestimmen, die sich im Wasser auflösen.

Man nimmt statt Wasser eine andere Flüssigkeit, in der sich der Körper nicht auflöst, und bestimmt den Gewichtsverlust des Körpers in dieser Flüssigkeit. Vorausgesetzt, daß man das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit gegen Wasser kennt, so läßt sich nach der gemeinen geraden Regel-Detri der Gewichtsverlust gegen Wasser berechnen, und hiernach auch sein specifisches Gewicht gegen Wasser.

Beispiel. Das absolute Gewicht des Körpers sey 400 Gran; in Terpentinöl verliere er 80 Gran. Weiß man, daß das specifische Gewicht des Terpentinöls $^8/_{10}$ gegen Wasser ist, so gibt folgende Proportion den Gewichtsverlust des Körpers in Wasser an:

$$^8/_{10} : 1 = 80 : x; \text{ also } x = 100.$$

Folglich ist sein specifisches Gewicht gegen Wasser = 400 : 100 = 4.

VI. Das specifische Gewicht flüssiger Körper gegen Wasser zu bestimmen.

Obgleich das Gesetz, daß jeder feste Körper, den man in eine Flüssigkeit taucht, von seinem absoluten Gewichte gerade so viel verliert, als die Flüssigkeit wiegt, deren Stelle er eingenommen hat, für alle Arten

Digitized by Google

flüssiger Körper gilt, so ist doch leicht zu erachten, daß ein und derselbe feste Körper in verschiedenen Flüssigkeiten auch verschiedene Gewichtsverluste erleiden müsse. Ist die Flüssigkeit specifisch schwerer als Wasser, wird er mehr, ist sie specifisch leichter als Wasser, wird er weniger Gewichtsverlust als im Wasser erleiden. Ein fester Körper kann in Wasser untersinken, in einer andern Flüssigkeit könnte er schweben, in einer dritten vielleicht gar schwimmen, wenn diese Flüssigkeiten in eben dem Verhältniß ein größeres specifisches Gewicht als Wasser haben. Eben so kann es umgekehrt Flüssigkeiten geben, in welchen ein fester Körper untergeht, der im Wasser schwebt oder schwimmt. Nicht nur aus der angegebenen Ursache des Gewichtsverlustes überhaupt läßt sich dieses leicht folgern, sondern es läßt sich auch durch Versuche nachweisen.

1) Man wäge einen festen Körper in süßem und in Salzwasser ab, der Gewichtsverlust wird sehr verschieden ausfallen. Im Salzwasser wird er größer seyn. Salzwasser ist demnach specifisch schwerer als süßes Wasser.

2) Zwei Würfel von gleicher Materie, gleichem Volumen und gleichem absoluten Gewicht, an jede Schale einer hydrostatischen Wage auf gleiche Weise angehängt, und in einerlei Flüssigkeit getaucht, lassen die Wage im Gleichgewicht, weil in diesem Falle an jedem Arm der Wage gleich viel verloren geht. Wird aber der eine Würfel in die eine, und der andere Würfel zugleich in eine andere Flüssigkeit getaucht, so tritt die Wage aus dem Gleichgewicht heraus, weil der Würfel, der in der specifisch schwereren Flüssigkeit sich befindet, mehr Gewicht als der andere verliert.

3) Ein Hühnerei geht in süßem Wasser unter, in genugsam gesalzenem Wasser kann es schweben.

Von diesen Betrachtungen ausgehend, bietet sich das Mittel zur Bestimmung des specifischen Gewichts der flüssigen Körper gegen Wasser von selbst dar.

Man wäge ein und denselben festen Körper, z. B. ein Stück massives Glas, erst in Wasser, dann in der Flüssigkeit ab, deren specifisches Gewicht man finden will. Wie sich dann der Gewichtsverlust im Wasser zum Gewichtsverlust in der andern Flüssigkeit verhält, so verhält sich auch das absolute Gewicht des Wassers zu dem der andern Flüssigkeit, und da beide im vorliegenden Falle gleiches Volumen haben müssen, so ist hiermit zugleich auch das specifische Gewicht der Flüssigkeit gegen das Wasser gefunden.

Beispiel. Ein Stück Glas verliere in Wasser 960 Gran, in Milch 990 Gran, in Bier 1020 Gran.

Das spec. Gewicht der Milch ergibt sich aus folgender Proportion:

$$960 : 990 = 1 : x; \text{ also } x = 1\,1/32.$$

Das des Biers aus folgender:

$$960 : 1020 = 1 : x; \text{ also } x = 1\,1/16.$$

Da feste Körper auf Flüssigkeiten schwimmen, wenn diese specifisch schwerer als jene sind, so geht daraus ein zweites Verfahren zur Bestimmung des specifischen Gewichts der Flüssigkeiten gegen Wasser hervor.

Man lasse einen Körper auf Wasser schwimmen, und bemerke, wie viel Kubikzoll unter Wasser sich befinden. Nun lasse man ihn auf einer andern Flüssigkeit schwimmen und bemerke ein Gleiches. Je weniger Kubikzoll der eingetauchte Theil enthält, desto specifisch schwerer muß die Flüssigkeit seyn, daher die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten sich umgekehrt,



Digitized by Google

wie die eingetauchten Kubikzoll verhalten. Gesetzt, ein Körper habe sich in Wasser auf 3 Kubikzoll, in eine andere Flüssigkeit auf 2 Kubikzoll eingetaucht, so müssen 2 Kubikzoll von dieser Flüssigkeit so viel wiegen, als 3 Kubikzoll Wasser, folglich muß das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit gegen Wasser = $^3/_2$ seyn.

Dieses Verfahren ist jedoch darum weniger zuverlässig als das zuerst angegebene, weil die Affinität zu den äußern Wänden des schwimmenden Körpers nicht für jede Flüssigkeit dieselbe ist. Ein Theil der Höhe, auf welcher die Flüssigkeit die Wände des schwimmenden Körpers umgibt, wird daher immer eine bloße Folge der größern oder geringern Affinität, und nicht des verschiedenen specifischen Gewichts der Flüssigkeiten seyn. So könnte Wasser mit einer andern Flüssigkeit ein gleiches specifisches Gewicht haben, und dennoch einen schwimmenden Körper auf eine größere Höhe umgeben, wenn es mehr Affinität als die andere Flüssigkeit zu ihm hat. In den meisten Fällen wird jedoch dieser Zustand keine sehr bedeutende Abänderung hervorbringen. Setzt man diese Abänderung, die, so klein sie auch oft seyn mag, doch immerhin keine genaue und scharfe Bestimmung zuläßt, wirklich bei Seite, so kann man das specifische Gewicht zweier Flüssigkeiten auch vermittelst der Höhe bestimmen, die sie in communicirenden Röhren haben. Daß Flüssigktiten von verschiedenem specifischen Gewicht in communicirenden Röhren nicht gleiche Höhe haben können, wenn sie im Gleichgewicht seyn sollen, ist einleuchtend, und eben so einleuchtend ist es auch, daß im Zustand des Gleichgewichts die specifisch schwerere Flüssigkeit eine geringere Höhe haben muß. Die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten müssen sich daher umgekehrt wie die Höhen verhalten, auf welchen sie in communicirenden Röhren stehen.

Außer dem Verfahren mit der hydrostatischen Wage gibt es noch ein anderes, durch welches man das specifische Gewicht der tropfbaren und der festen Körper auf eine sehr einfache Weise bestimmen kann. Der dazu erforderliche Apparat besteht aus einer genauen Wage, richtigen Gewichtchen und einigen kleinen Fläschchen von verschiedener Größe mit eingeschliffenen Glasstöpseln.

Soll mittelst dieser Geräthschaft das specifische Gewicht von tropfbaren Flüssigkeiten gegen Wasser bestimmt werden, so verfährt man damit auf folgende Weise: Man bestimmt das absolute Gewicht des trocknen, völlig leeren Fläschchens mit seinem eingeschliffenen Stöpsel (man tarirt das Fläschchen), füllt es dann mit destillirtem Wasser und bestimmt die Gewichtszunahme. Nun gießt man das Wasser aus, füllt das Fläschchen mit der Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht man finden will, und bestimmt abermals die Gewichtszunahme. Das Verhältniß der einen Gewichtszunahme zu der andern gibt zugleich das specifische Gewicht der Flüssigkeit gegen Wasser an, weil, wenn der Stöpsel gut eingeschliffen ist, der innere Raum des Fläschchens von jeder Flüssigkeit ein gleiches Volumen faßt.

*Beispiele.* Das absolute Gewicht des Wassers im Fläschchen sey 600 Gran, von einer andern Flüssigkeit sey es 500 Gran. Daher specifisches Gewicht der Flüssigkeit = $^5/_6$, denn:

$$600 : 500 = 1 : x; \text{ also } x = {}^5/_6.$$

In Beziehung auf feste Körper kann man auf folgende Art verfahren: Man zerstückele oder zerreibe den festen Körper so fein, daß die Theile, die man erhält, in das Fläschchen gehen. Erst tarirt man nun das mit

Digitized by Google

Wasser gefüllte Fläschchen, dann bestimmt man auch das absolute Gewicht des festen Körpers, den man im Fläschchen abwägen will. Ist dieß geschehen, so bringt man den festen Körper in das Fläschchen. Dadurch wird dann ein Theil des Wassers daraus verdrängt. Hat man darauf gesehen, daß keine Luftblasen im Fläschchen geblieben sind, und hat man es auch äußerlich völlig abgetrocknet, und legt es nun wieder auf die Wage, so wiegt es jetzt weniger als das Gewicht des gefüllten Fläschchens und das des festen Körpers zusammen betragen, weil der feste Körper im Wasser einen Theil seines Gewichts verloren hat. Dieser Gewichtsverlust zeigt daher an, wie viel eine Wassermasse wiegt, die mit dem festen Körper gleiches Volumen hat. Dividirt man damit in das absolute Gewicht des festen Körpers, so zeigt der Quotient dessen specifisches Gewicht gegen Wasser an.

Beispiel. Das absolute Gewicht des festen Körpers sey 130 Gran, der Gewichtsverlust 26 Gran. Demnach wäre sein specifisches Gewicht gegen Wasser = 130 : 26 = 5.

VII. Das specifische Gewicht des Wassers zu finden.

Man versenkt einen regelmäßigen Körper, z. B. einen genau gearbeiteten Kubikzoll mittelst der hydrostatischen Wage in Wasser, und bemerkt seinen Gewichtsverlust. So viel dieser beträgt, so viel wiegt dann auch ein Kubikzoll von diesem Wasser.

§ 98. (Correctionen.) Das Wasser wird aber, wie jeder andere Körper von der Wärme ausgedehnt, und verdichtet sich dagegen in der Kälte. Je mehr es sich aber ausdehnt, desto lockerer wird es auch. Bei zunehmender Wärme wird daher ein Kubikzoll desselben Wassers weniger wiegen. Da nun reines destillirtes Wasser die zu Grund liegende Einheit bei der Bestimmung der specifischen Gewichte ist, so kommt dabei der Wärmegrad, unter welchem es abgewägt worden ist, mit in Berücksichtigung. Manche Physiker bestimmten das Gewicht des Wassers zur Zeit, wo es am dichtesten ist, welches bei $3^1/_5$ Grad Wärme nach dem achtzigtheiligen Queckfilberthermometer eintritt. Häufiger jedoch bestimmt man sein Gewicht bei einer Wärme von 14 bis 15 Grad dieses Thermometers, weil diese im Sommer wie im Winter leicht zu finden ist. Vorausgesetzt, daß man bei der Untersuchung über das specifische Gewicht des Wassers mit aller nur erdenklichen Sorgfalt und Genauigkeit verfährt, so wird jedoch dieser Umstand allein einige Abweichungen in den Angaben erzeugen, und es nothwendig machen, eine auf die andere zu reduciren. Nimmt man das specifische Gewicht des Wassers bei $3^1/_5$ Grad Wärme als Einheit ein, so gibt folgende, aus Versuchen hervorgegangene Tabelle den Unterschied dieses specifischen Gewichtes in Hunderttausendstel an, nämlich:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bei | $3^1/_5$ | Grad | Wärme | ist | es | 1 | | |
| " | 0 | " | " | " | " | 12 | Hunderttausendstel | geringer. |
| " | 1 | " | " | " | " | 6 | " | " |
| " | 2 | " | " | " | " | 2 | " | " |
| " | 3 | " | " | " | " | 0 | " | " |
| " | 4 | " | " | " | " | 1 | " | " |
| " | 5 | " | " | " | " | 4 | " | " |
| " | 6 | " | " | " | " | 9 | " | " |
| " | 7 | " | " | " | " | 17 | " | " |
| " | 8 | " | " | " | " | 26 | " | " |

Digitized by Google

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bei | 9 | Grad | Wärme | ist | es | 38 | Hunderttausendstel | geringer. |
| „ | 10 | „ | „ | „ | „ | 52 | „ | „ |
| „ | 11 | „ | „ | „ | „ | 68 | „ | „ |
| „ | 12 | „ | „ | „ | „ | 86 | „ | „ |
| „ | 13 | „ | „ | „ | „ | 105 | „ | „ |
| „ | 14 | „ | „ | „ | „ | 128 | „ | „ |
| „ | 15 | „ | „ | „ | „ | 152 | „ | „ |
| „ | 16 | „ | „ | „ | „ | 177 | „ | „ |
| „ | 17 | „ | „ | „ | „ | 203 | „ | „ |
| „ | 18 | „ | „ | „ | „ | 231 | „ | „ |
| „ | 19 | „ | „ | „ | „ | 261 | „ | „ |
| „ | 20 | „ | „ | „ | „ | 292 | „ | „ |

Den neuesten Versuchen zufolge, rechnet man das Gewicht von einem Pariser Kubikfuß reinen destillirten Wassers bei 14 Grad Wärme auf (beinahe) 70 Pariser Pfund, und ein Kubik-Centimeter von solchem Wasser wiegt bei $3^1/_5$ Grad Wärme zu 18,82715 Gräns des alten französischen Markgewichts, wonach also bei diesem Wärmegrad 1 Pariser Kubikfuß = 70,025 Pfund wiegt, da ein solcher Kubikfuß 34278 Kubik-Centimeter hält, und 1 Pfund 9216 Gräns hat. Ein solcher Kubik-Centimeter ist, unter dem Namen Gramme, zur Einheit des neuen französischen Gewichtssystems angenommen.

Nach einer vom Oberbaurath Eytelwein zu Berlin angestellten sorgfältigen Abwägung wiegt ein preußischer Kubikfuß reinen destillirten Wassers genau 66 preußische Pfund, bei 15 Grad Wärme des 80theiligen Queckfilberthermometers. Da nunmehr das hiesige Frankfurter Leicht- oder Silbergewicht dem preußischen Gewicht gleich ist, und 30916 Frankfurter Kubikfuß 23054 preußische betragen, so wiegt ein Frankfurter Kubikfuß solchen Wassers unter diesem Wärmegrad 49,216 Pfund. Ein solcher Kubikfuß hält nahe 14,34 Neu- oder Zapfmaß, mithin wiegt eine solche Maß dieses Wassers 3,433 dieser Pfunde.

§ 99. (Aräometer.) Nicht allein dem Naturforscher ist die Untersuchung über das specifische Gewicht der Körper als Mittel zur Erforschung deren verhältnißmäßigen Dichtigkeiten höchst wichtig, auch dem Technologen, Handelsmanne und Oekonomen gewährt sie bedeutenden Nutzen, indem sie ihn in den Stand setzt, den Gehalt flüssiger Körper, z. B. des Weingeistes, Branntweins, Biers, der Säuren, Laugen, Salzauflösungen u. s. w. prüfen zu können. Da aber die beschriebenen Verfahrungsarten für den Geschäftsmann zu umständlich und daher unanwendbar sein würden, so hat man eigne Instrumente erfunden, deren Gebrauch sehr einfach ist. Diese Instrumente führen im Geschäftsleben allerlei Namen, als Soolwagen, Salzspindeln, Laugenwagen, Bierwagen, Milchwagen, Branntweinwagen, Alkoholometer und dergl. m. und werden allgemein Aräometer, hydrostatische Senkwagen (Lockerheitsmesser) genannt. Es gibt deren zwei Arten:

1) Aräometer mit Skalen (Volumeter).
2) Aräometer mit Gewichten (Gravimeter).

Die Aräometer mit Skalen bestehen aus einer gläsernen Röhre, die, weil sie hohl ist, so leicht seyn kann, daß sie nicht nur für sich allein, sondern auch dann noch im Wasser schwimmt, wenn ihr unteres Ende mit einer hohlen Kugel versehen ist, in welcher etwas Queckfilber oder Blei-

Digitized by Google

Fig. 89.

schrot sich befindet (Fig. 89), damit ihr Schwerpunkt tief genug unter der Oberfläche des Wassers liegt, und sie in senkrechter Stellung darin schwimmt. Je leichter die Flüssigkeit ist, in welche dieses Aräometer eingetaucht wird, desto mehr wird es von ihr verdrängen, desto tiefer wird es demnach einsinken. Hat man nun durch Versuche bestimmt, wie tief es in derselben Flüssigkeit (z. B. in Alkohol) sich eintaucht, je nachdem ihr Gehalt so oder anders ist, und die Stellen auf einer im Instrument angebrachten Skale (Gradleiter) bemerkt, so kann man es nachher zur Prüfung des Gehalts einer solchen Flüssigkeit, für welche man die Versuche angestellt hat, benutzen.

*Beispiel.* Bei der Weingährung süßer Pflanzensäfte verwandelt sich ein Theil des Zuckers, den sie enthalten, in eine entzündliche Flüssigkeit, die bekanntlich *Weingeist* genannt wird. Durch wiederholte Destillation kann man gemeinen *Branntwein* daraus bereiten. Setzt man die Destillation noch fort, so wird er immer wasserfreier, und bekommt nun den Namen *Alkohol* oder *rectificirter Weingeist*, und der beinahe gänzlich entwässerte wird *höchst rectificirter Weingeist* oder *absoluter Alkohol* genannt.

Um nun ein Aräometer zu haben, durch welches man den Gehalt des Alkohols prüfen kann, setzt man es erst in destillirtes Wasser, und an den Punkt, bis wohin es einsinkt, setzt man 0. Nachher taucht man es auch in absoluten Alkohol und bezeichnet die Stelle, bis wohin es einsinkt, mit 100. Nun mischt man 10 Theile Wasser mit 90 Theilen absoluten Alkohols, 20 Theile Wasser mit 80 Theilen dieses Alkohols u. s. f. bis 90 Theile Wasser mit 10 Theilen des Alkohols, und bemerkt die Stelle, bis wohin es in jeder Mischung einsinkt. Sind die Versuche mit gehöriger Sorgfalt gemacht worden, so kann man nun durch Einsenkung des Instruments in Alkohol inne werden, ob es absoluter ist, oder ob er noch Wasser enthält, und wie viel Hundertstel Alkohol in der Mischung enthalten sind. Dieses Aräometer wird daher *Alkoholometer* genannt. Genaue Angaben zu deren Verfertigung und Gebrauch haben *Gay-Lüssac*, *Tralles*, *Meißner* u. A. ausgeführt.

Branntwein und Alkohol sind desto gehaltreicher, je weniger Wassertheile sie enthalten, je leichter sie sind, je tiefer demnach das Aräometer sich darin einsenkt. Damit man nun die Grade an dem hervorstehenden Theil wahrnehmen kann, sind sie von unten nach oben aufgetragen. Bei Salzauflösungen, bei Laugen und dergl. ist es umgekehrt; diese Flüssigkeiten sind desto gehaltreicher, je schwerer sie sind, je weniger demnach das Aräometer sich darin einsenkt. Bei einer Salzspindel, einer Laugenwage geht daher die Gradleiter von oben abwärts, nachdem man, wie bei dem Alkoholometer, die Mischungsverhältnisse durch Versuche bestimmt hat.

Jedes Aräometer mit Skale, auch dann, wenn es noch so genau verfertigt ist, leidet an Unvollkommenheiten, die sich bei keinem ganz beseitigen lassen. Denn außerdem, daß die vollkommen richtige Bestimmung des Nullpunktes, von wo aus die Gradleiter beginnt, äußerst schwierig ist, und die Versuche zur weitern Auftragung der Grade nie vollkommen genau sich anstellen lassen, hat auch eine völlig richtige Graduirung ihre besonderen

Digitized by Google

Schwierigkeiten. Hierzu kommt auch noch die Affinität des Aräometers zu der Flüssigkeit, die ebenfalls Abweichungen herbeiführen muß, und endlich der verschiedene Wärmegrad, der bei'm Gebrauch stattfindet und unter welchem die Versuche sind angestellt worden. Obgleich nun ein graduirtes Aräometer dem Geschäftsmanne ein nützliches Instrument ist, so ist jedoch für delikate Untersuchungeu nicht zu gebrauchen.

Besser ist das Aräometer mit Gewichten, das, nach seinem Erfinder, das Fahrenheitische oder das allgemeine genannt wird. Dieses Aräometer (Fig. 90) besteht aus einem hohlen Cylinder, auf dessen oberem Ende eine kleine Schale sitzt, in die sich Gewichtchen einlegen lassen. Die Tiefe a, bis wohin das Instrument in die leichteste tropfbare Flüssigkeit, die man haben kann, für sich allein einsinkt, ist am Halse des Cylinders markirt. In jeder andern Flüssigkeit sinkt es erst dann bis an die Marke ein, wenn hinlänglich Gewichtchen in die Schale gelegt werden. Je mehr Gewichtchen nun dazu erforderlich sind, desto schwerer ist die Flüssigkeit, und eben hierauf beruht sein Gebrauch. Gesetzt, das Aräometer wiege für sich allein 200 Gran, und erfordere eine Belastung von 50 Gran, um in destillirtem Wasser bis an die Marke einzusinken, so beträgt das Gewicht des verdrängten Wassers 250 Gran. Ist nun für eine andere Flüssigkeit eine Belastung von 75 Gran erforderlich, damit es bis zur Marke einsinke, so beträgt das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit 275 Gran. Da aber die verdrängte Flüssigkeit mit dem verdrängten Wasser von gleichem Volumen ist, so verhält sich ihr specifisches Gewicht zu dem des Wassers wie 275 : 250 = 1 : $1\frac{1}{10}$.

Fig. 90.

Nicholson hat diesem Aräometer eine Einrichtung gegeben, wodurch es auch zur Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper zu gebrauchen ist. Man verfährt damit auf folgende Weise: Erst bestimmt man die Belastung, die erforderlich ist, damit das Aräometer in destillirtem Wasser bis zur Marke einsinke; angenommen, sie betrage 700 Gran. Man nehme die Belastung von der Schale weg, und lege dagegen von dem festen Körper, dessen specifisches Gewicht man finden will, ein solches Stück auf, das noch keine 700 Gran wiegt, und noch so viele Gewichte hinzu, daß das Aräometer bis an die Marke einsinke. Gesetzt, man hätte noch 180 Gran zulegen müssen, so beträgt das absolute Gewicht des Körpers 700 Gran, weniger 180 Gran = 520 Gran. Nicholson hat das Aräometer unten mit einem Eimerchen versehen. In dieses legt man jetzt den Körper ein, läßt die aufgelegten Gewichte in der obern Schale liegen, und versenkt ihn so in destillirtes Wasser. Da er hier einen Gewichtsverlust erleidet, so muß man noch mehr Gewichte auflegen, wenn das Aräometer wiederum bis zur Marke einsinken soll. Hätte man noch 200 Gran auflegen müssen, so hat der Körper so viel im Wasser an Gewicht verloren. Damit in sein absolutes Gewicht dividirt, gibt sein specifisches Gewicht; für den angenommenen Fall wäre es = 520 : 200 = $2\frac{1}{5}$. Hätte man aber 800 Gran zulegen müssen, so wäre sein specifisches Gewicht = 520 : 800 = $\frac{13}{20}$.

§ 100. (Elementarwelt.) Eine Folge des specifischen Gewichts ist auch, daß Flüssigkeiten, die sich nicht mit einander vermischen, und die in einem Gefäße sich befinden, dessen Weite es verstattet, daß sie sich einander ausweichen können, sich so über einander stellen, daß die schwersten zu unterst liegen. An der sogenannten Elementarwelt hat man die Wahrneh-

Digitized by Google

mung dieser Erscheinung. Dieser Name wird einem länglichen Glase beigelegt, in welchem gewöhnlich vier Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewicht über einander stehen, unter denen man ehemals das specifische Verhalten der sogenannten vier Elemente vorstellte. Unten im Glase befindet sich Queckfilber (Erde), darüber Lauge (Wasser), dann Terpentinöl (Feuer), dann Luft. Doch können es auch andere Materien seyn, nur müssen sie verschiedenes specifisches Gewicht haben und dürfen sich nicht mit einander vermischen. Wie sehr man auch die über einander stehenden Flüssigkeiten durch einander rüttelt, so stellten sie sich doch immer von selbst wieder in ihre ursprüngliche Ordnung über einander. In communicirenden Röhren können daher auch zwei flüssige Körper, die sich nicht mit einander vermischen, und verschiedene specifische Gewichte haben, z. B. Wasser und Queckfilber, nicht von gleicher Höhe im Zustand des Gleichgewichts seyn, sondern ihre Höhen verhalten sich in diesem Falle umgekehrt, wie ihre specifischen Gewichte. So wird z. B. eine Wassersäule mit einer Queckfilbersäule im Gleichgewicht seyn, wenn jene etwa $13\frac{1}{2}$mal höher ist, als diese.

Artig ist auch in dieser Hinsicht der Versuch mit dem Passevin. Dieser besteht aus zwei hohlen Glaskugeln, die durch ein enges Rohrstück mit einander verbunden sind und lothrecht über einander stehen. Füllt man die untere Kugel mit reinem Wasser, und dann die obere mit rothem Wein, der etwas specifisch schwerer ist als das Wasser ist, so tritt, wenn der Passevin ruhig stehen bleibt, nach und nach der Wein in die untere und das Wasser in die obere Kugel.

§ 101. (Schwimmen.) Feste Körper, die specifisch leichter als Wasser sind, werden vom Wasser in die Höhe gehoben und schwimmen darauf. Eben so kann auch Eisen auf Queckfilber schwimmen, nicht aber Gold. Aber auch solche feste Körper, die aus einer Materie bestehen, die für sich specifisch schwerer als Wasser ist, und darin untersinken müßten, können dahin gebracht werden, daß sie darauf schwimmen. Hierzu ist nur erforderlich, daß das Volumen des Körpers bedeutend genug vergrößert wird, indeß sein absolutes Gewicht unverändert bleibt, so, daß die ganze Masse des Körpers ein geringeres Gewicht hat, als eine Wassermasse von demselben Volumen. Dieser Fall tritt unter andern für hohle Körper ein. Hohle Metallkugeln, leere Flaschen können daher auf dem Wasser schwimmen, wenn ihr absolutes Gewicht sammt dem absoluten Gewicht der darin enthaltenen Luft geringer ist, als das absolute Gewicht eines gleichen Volumens des Wassers. Gesetzt, eine hohle Metallkugel wiege 25 ℔ und hätte einen körperlichen Inhalt von 3 Kubikfuß, so verdrängt sie auch 3 Kubikfuß Wasser. Diese wiegen 210 ℔, daher die Kugel mit 185 ℔ Ueberschuß auf dem Wasser schwimmen kann. Darum schwimmen Pontons, obschon sie ganz mit Kupfer beschlagen sind, und obendrein noch eine bedeutende Last tragen. Leichen schwimmen aus eben dem Grunde, denn die Fäulniß treibt den Körper aus einander und vergrößert demnach sein Volumen, aber nicht sein absolutes Gewicht. Daß auf dem salzigen Seewasser schwimmende Körper nicht so tief als auf dem leichtern Wasser der Ströme eintauchen, läßt sich aus der Betrachtung über das specifische Gewicht der Flüssigkeiten leicht erörtern. Angestellte Versuche ergaben, daß das Wasser der Nordsee an der Mündung der Elbe um $\frac{1}{48}$ specifisch schwerer ist, als das Wasser aus diesem Strome.

Obgleich nun ein jeder Körper, der specifisch leichter als eine Wassermasse von demselben Volumen ist, auf dem Wasser schwimmen muß, was

Digitized by Google

man passives oder natürliches Schwimmen nennt, so ist es doch der Erfahrung gemäß, daß nicht jeder Körper in jeder beliebigen Lage schwimmen kann. Legt man einen langen viereckigen Kasten so in Wasser, daß seine lange Seite aufrecht steht, so wird er durch die geringste Kraft, die auf ihn wirkt, durch einen Windstoß, durch den Wasserstoß selbst, sogleich umschlagen, während er beharrlich fortschwimmt, wenn man seine lange Seite in Wasser legt. Damit aber ein Körper beharrlich im Wasser schwimme, kommt es darauf an, daß sein Schwerpunkt und der Mittelpunkt der verdrängten Wassermasse in einer und derselben lothrechten Linie liegen, und daß er sogleich wieder zu dieser Lage zurückkehrt, wenn sie durch eine äußere Kraft auch eine Veränderung erlitten hat. Die beharrlichste Lage hat ein schwimmender Körper, wenn überdieß sein Schwerpunkt lothrecht unter dem Mittelpunkt des verdrängten Wassers liegt. Dieses ist dann auch bei belasteten Schiffen der Fall, und darum nehmen Seeschiffe, bei Mangel an gehöriger Belastung, Ballast ein.

Feste Körper, die specifisch schwerer als Wasser sind und für sich allein darin untersinken müßten, können auch dadurch zum Schwimmen gebracht werden, wenn man sie mit andern festen Körpern, die specifisch leichter als Wasser sind, verbindet, und beide verbundene Körper weniger als eine gleich große Wassermasse wiegen. Dieses nennt man aktives oder künstliches Schwimmen. Gesetzt, ein Stück Ebenholz von 20 ℔ werde auf Wasser gelegt, in dem es, weil es etwas specifisch schwerer ist, untersinke. Nun verbinde man damit 1 ℔ Korkholz. Da Korkholz viermal specifisch leichter als Wasser ist, so wiegt die Wassermasse, die von dem Ebenholz und dem Kork zusammen verdrängt wird, $20 + 4 = 24$ ℔, und nur 21 ℔ ist das Gewicht der beiden verbundenen Körper, daher sie mit 3 ℔ Ueberschuß auf dem Wasser schwimmen. Hierauf gründet sich der Gebrauch der künstlichen Schwimmwerkzeuge, der Schwimmgürtel, Schwimmharnische und dergl. m. Dergleichen Schwimmapparate müssen jedoch unter den Armen über der Brust, nach den Schultern hin, befestigt werden, daß der Schwerpunkt des Schwimmers noch tief genug lothrecht unter dem Mittelpunkt des verdrängten Wassers zu liegen komme. Würden sie an den Unterleib befestigt, so könnte es geschehen, daß dadurch der Schwerpunkt des Schwimmers über den Unterleib zu liegen käme, er umschlagen und ertrinken müßte.

Aber auch Körper, die auf dem Wasser schwimmen, können unter gewissen Umständen zum Untersinken gebracht werden, wenn mit Beibehaltung ihres absoluten Gewichts ihr Volumen so klein wird, daß es mehr als ein gleich großes Volumen Wasser wiegt. Eine Blase, die ausgedehnt auf dem Wasser schwimmt, geht zusammengeballt darin unter.

Dünne und trockene Metallplättchen können auch für sich allein auf kaltem Wasser schwimmen, obschon Metall specifisch schwerer als Wasser ist. Nur muß man bei'm Auflegen darauf bedacht seyn, daß ihre obere Fläche nicht naß wird. Legt man zwei feine trockne Nähnadeln mit dieser Behutsamkeit auf kaltes Wasser, so schwimmen sie aufeinander zu, bis sie ganz nebeneinander liegen. Solche dünne Körperchen haben nämlich nicht Gewalt genug, den Zusammenhang des Wassers zu zerreißen, und überdieß bleibt durch das behutsame Auflegen zwischen ihnen und dem Wasserspiegel noch Luft sitzen, von der sie getragen werden, und mit dieser verbunden, haben sie ein geringeres Gewicht als die Wassermasse, die sie verdrängen, und die um so größer ist, weil sie eine gekrümmte Gestalt bekommt. Ist aber

Digitized by Google

das Metallplättchen oder die Nähnadel schon naß, indem man sie auflegt, dann fällt die Ursache weg, vermöge welcher sie schwimmen, daher sie auch untergehen. Eben so müssen sie auch untergehen, wenn ihre obere Fläche naß wird; alsdann fließen nämlich die Wasserberge, die um sie her sich bilden, mit dem auf ihnen stehenden Wasser zusammen, und sie fallen vermöge ihrer Schwere zu Boden. Dieses ist auch der Grund, daß sie auf heißem Wasser nicht schwimmen können, weil der Dampf ihre obere Fläche naß macht.

Die lebenden Fische scheinen im Wasser im Gleichgewicht zu seyn, da sie weder durch ihr Gewicht sinken, noch auch von dem Wasser emporgehoben werden. Ein Fisch muß daher genau so viel wiegen, als das von ihm verdrängte Wasser.

Ob der menschliche Körper von Natur specifisch leichter als Wasser ist, oder nicht, läßt sich im Allgemeinen nicht befriedigend angeben. Versuche, die man hierüber angestellt hat, fielen nach Verschiedenheit des Alters und des Körperbaues auch sehr verschieden aus. Außerdem aber, daß diese Versuche noch lange nicht in solcher Menge angestellt worden sind, daß sich daraus mit einiger Zuverlässigkeit ein allgemein gültiger Schluß ableiten ließ, haben überhaupt dergleichen Versuche an sich schon viele Unvollkommenheiten, da der Mensch kein Metallklumpen ist, und nicht so passiv bei den Versuchen sich verhält. Viel schwerer als Wasser ist jedoch der menschliche Körper auf keinen Fall. Magere Personen mögen etwas, vielleicht $^1/_{10}$ schwerer seyn, fette sind specifisch leichter als Wasser. Der Abt Bartolini erzählt von einem Priester zu Neapel, Don Paolo Muccia, der 300 ℔ wog, und dessen specifisches Gewicht 30 ℔ geringer als eine Wassermasse von gleichem Volumen war; er konnte im Wasser allerlei Stellungen annehmen, im Meere sank er nur bis an die Brust ein und machte in der Bucht von Neapel im Jahr 1767 allerlei Künste. Solche Menschen sind freilich selten. Indessen verliert doch jeder Mensch fast sein ganzes Gewicht im Wasser, und kann daher schon von einem Hund an das Land gebracht werden. Aber auch Menschen, die in der That ein wenig leichter als Wasser sind, können darum noch nicht auf dem Wasser schwimmen, weil sie, um Athem zu holen, nicht ganz darin eintauchen können, und nun auch nicht so viel Wasser, als ihr Körper wiegt, zu verdrängen vermögen; Hände und Füße werden daher immer noch einige Anstrengungen machen müssen, um Mund und Nase über dem Wasser zu erhalten, welches dann das eigentliche künstliche Schwimmen ist. Vierfüßige Thiere haben einen bessern Körperbau zum Schwimmen als der Mensch, allein auch dieser braucht keine außerordentliche Anstrengung dazu, und es zu erlernen, kostet ihm keine sonderliche Mühe. Wer das Unglück hat, in's Wasser zu fallen, und nicht schwimmen gelernt hat, den lehrt es wohl auch die Noth, und nur Mangel an Muth und Geistesgegenwart führen zu lebensgefährlichen Mißgriffen. Vor Allem muß man darauf bedacht seyn, den Athem so viel als möglich anzuhalten, weil dadurch die Brust erweitert wird, der Körper einige Kubikzoll mehr Volumen bekommt, und das Gewicht des verdrängten Wassers dadurch beträchtlich genug zunimmt. Die Füße müssen sachte nachgezogen, dann schnell hinabgestoßen werden, die Arme müssen horizontal liegen, und mit flachen Händen muß man abwärts drücken, so bleibt das Gesicht über dem Wasser. Ungeschickte Bewegungen müssen mit dem Leben bezahlt werden.

§ 102. (Allgemeine Darstellungen.) Bezeichnet man mit v das Volumen,

Digitized by Google

mit g das specifische Gewicht, mit p das absolute Gewicht eines Körpers, und mit a das Gewicht von einem Kubikschuh reinen destillirten Wassers, so ergibt sich hieraus die Gleichung:

$$p = vga$$

und hieraus folgt ferner:

$$v = \frac{p}{ga}$$

$$g = \frac{p}{va}$$

Nämlich: I. Das absolute Gewicht eines Körpers kommt heraus, wenn man sein Volumen (in Kubikschuh), sein specifisches Gewicht und das Gewicht von einem Kubikschuh Wasser mit einander multiplicirt.

Beispiele. 1) Wie viel wiegen 3 Frankfurter Kubikfuß Blei? Das specifische Gewicht des Bleies ist 11,35, und ein Frankfurter Kubikfuß Wasser wiege 49,2 Frankfurter ℔. Demnach wäre das absolute Gewicht des Bleies = 3 × 11,35 × 49,2 = 1675,26 ℔.

2) Wie viel wiegen 8 Frankfurter Kubikzoll feines Gold, wenn dessen specifisches Gewicht 19,25 ist? Antwort: $^8/_{1728}$ × 19,25 × 49,2 = 4,384 ℔.

3) Wie viel wiegt ein Frankfurter Kubikschuh Korkholz, dessen specifisches Gewicht 0,24 ist? Antwort: 1 × 0,24 × 49,2 = 11,808 ℔.

4) Wie viel wiegt ein Frankfurter Kubikzoll Quecksilber, dessen specifisches Gewicht 13,6 ist? Antwort: $^1/_{1728}$ × 13,6 × 49,2 = beinahe 0,39 ℔.

II. Das Volumen eines Körpers kommt heraus, wenn man sein specifisches Gewicht mit dem Gewicht von einem Kubikfuß Wasser multiplicirt, und mit diesem Produkt in das absolute Gewicht dividirt.

Beispiele. 1) Wie groß ist das Volumen einer eisernen Platte von 100 Frankfurter ℔, wenn ihr specifisches Gewicht 7,8 ist? Antwort: 100 : 7,8 × 49,2 = circa 0,26 Kubikschuh.

2) Wie groß ist das Volumen eines Thalers aus feinem Silber, der 2 Loth wiegt und dessen specifisches Gewicht 10,5 ist? Antwort: 2 Loth ist $^1/_{16}$ ℔; in dieses durch 10,5 × 49,2 dividirt, gibt einen Bruch in Frankfurter Kubikschuh; auf Kubiklinien gebracht, ist er = 361,25 Kubiklinien.

3) Wie groß ist das Volumen eines meerschaumenen Pfeifenkopfs von $^1/_2$ ℔, dessen specifisches Gewicht 1,2 ist? Antwort: 14,63 Kubikzoll.

III. Das specifische Gewicht eines Körpers kommt heraus, wenn man sein Volumen mit dem Gewicht von einem Kubikfuß Wasser multiplicirt, und mit diesem Produkt in das absolute Gewicht dividirt.

Beispiele. 1) Wie groß ist das specifische Gewicht einer eisernen Platte von 100 Frankfurter ℔, wenn sie 0,26 Frankfurter Kubikschuh Volumen hat? Antwort: 100 : 0,26 × 49,2 = 7,8.

2) Wie groß ist das specifische Gewicht eines absoluten Alkohols, der 300 ℔ wiegt und 7,62 Frankfurter Kubikschuh Volumen hat? Antwort: beinahe 0,8.

IV. Wie viel Gewicht muß von einem Körper, der specifisch leichter, mit einem andern, der specifisch schwerer, als Wasser ist, verbunden werden, wenn verlangt wird, daß die Verbindung so auf Wasser schwimmen soll, wie dieser oder jener Körper schwimmt, der für sich specifisch leichter, als Wasser ist?

Digitized by Google

Es sey das Gewicht des specifisch schwerern Körpers = p, sein specifisches Gewicht = g, sein Volumen = v. Ferner sey das specifische Gewicht des leichtern Körpers = m, sein absolutes Gewicht = x, sein Volumen = n, und das specifische Gewicht, mit welchem sie in der Verbindung, d. i. v + n schwimmen sollen = h.

Nun ist $v = \frac{p}{g}$ und $n = \frac{x}{m}$

folglich ist $v + n = \frac{p}{g} + \frac{x}{m} = \frac{mp + gx}{gm}$

Nun ist aber auch das absolute Gewicht der Verbindung = (v + n) h, oder = $\frac{mp + gx}{gm}$ h. Da nun die Verbindung p + x wiegt, so ist auch

$$\frac{mp + gx}{gm} h = p + x$$

woraus sich ergibt

$$x = \frac{(g - h)\ mp}{(h - m)\ g}$$

Beispiele. 1) Wie viel Pfund Korkholz, dessen specifisches Gewicht 0,25 ist, muß man mit 10 ℔ Blei verbinden, dessen specifisches Gewicht 11,35 ist, damit sie vereint wie Tannenholz, specifisches Gewicht = 0,55, schwimmen? Hier ist p = 10; m = 0,25; g = 11,35; h = 0,55. Also $x = \frac{10{,}80 \times 2{,}50}{3{,}405} = 7{,}9$ ℔ Kork.

2) Wie viel Pfund Kork muß ein Mensch, dessen specifisches Gewicht 1,1 ist, sich anhängen, um mit Wasser gleiches specifisches Gewicht zu haben, wenn der Mensch p ℔ wiegt? Hier ist p = p; g = 1,1; m = 0,25; h = 1. Also $x = \frac{0{,}1 \times 0{,}25 \times p}{0{,}75 \times 1{,}1} = {}^1/_{33}$ p, d. h. der Mensch braucht $^1/_{33}$ seines Gewichts an Kork.

3) Wie viel Pfund Luft muß er sich anhängen, um wie Tannenholz zu schwimmen? Hier ist p = p; g = 1,1; m = 0,00125; h = 0,55. Also $x = \frac{0{,}55 \times 0{,}00125 \times p}{0{,}54875 \times 1{,}1} = 0{,}001$ p, d. h. der Mensch braucht nur etwas über 0,001 seines Gewichts an Luft mit sich zu verbinden, so kann er wie Tannenholz schwimmen; wiegt er z. B. 160 ℔, so braucht er etwa nur $^1/_6$ ℔ Luft zu dieser Verbindung.

§ 103. (Archimedisches Problem.) Archimedes, geboren zu Syrakus 287 Jahre vor der christlichen Zeitrechnung, hat durch höchst wichtige und sinnreiche Erfindungen und durch glückliche Auflösungen sehr verwickelter mathematischer Betrachtungen sein Andenken bei der Nachwelt erhalten. So viel bekannt ist, war er der Erste, der den Satz aufstellte, daß jeder Körper, den man in eine Flüssigkeit taucht, von seinem absoluten Gewicht gerade so viel darin verliere, als ein gleiches Volumen dieser Flüssigkeit wiege, und kann demnach auch als Erfinder der Hydrostatik betrachtet werden. Eine Krone, die der neuerwählte König Hiero von Syrakus, mit dem Archimedes verwandt war, den Göttern weihte, soll die erste Veranlassung zu dieser wichtigen Erfindung gewesen seyn. Da nämlich dem König hinterbracht wurde, die Krone, die er aus seinem Gold verlangt habe, und die dem Gewicht nach seinem Verlangen gemäß sey, enthalte

Digitized by Google

einen Zusatz von Silber, so beauftragte er Archimedes, dieses zu prüfen, und ihm darüber zu berichten. Sonderbar, wie die Veranlassung, war auch der Weg, der zur Auflösung führte. Die einfache Wahrnehmung, daß aus einer vollen Badewanne, in der Archimedes badete, so viel Wasser ausfloß, als sein Körper Raum einnahm, liegt ihr zu Grunde. Klar ward es jetzt seinem durchdringenden Verstande, und mit dem Ausruf: Ich habe es gefunden, eilte er, noch ungekleidet, zu seinem Studirtische zurück. Hier wägte er eine Masse feines Gold, eine gleiche Masse feines Silber und auch die Krone in Wasser ab, brachte durch Vergleichung der Gewichtsverluste es an den Tag, daß man den König wirklich betrogen habe, und begründete zugleich die Wissenschaft vom Gleichgewicht der flüssigen Körper.

Angenommen, die Krone habe bloß aus Gold und Silber bestanden und habe a Pfund gewogen (wir viel sie eigentlich gewogen hat, wird vom Geschichtschreiber Vitruvius nicht angegeben), so kann man durch algebraische Rechnung ihren Inhalt an Gold und Silber allgemein bestimmen. Nimmt man an, daß x Pfund Gold in der Krone gewesen seyen, so mußte sie an Silber a — x Pfund enthalten. Konnte nun Archimedes bestimmen, daß a Pfund Gold p, und a Pfund Silber q Pfund Gewichtsverlust im Wasser erleiden, so war die Berechnung des Gewichtsverlustes für x Pfund Gold und für a — x Pfund Silber leicht durch die Proportion zu finden, denn

$$a : x = p : \frac{px}{a}$$

$$\text{und } a : (a - x) = q : \frac{(a - x)\,q}{a}.$$

Hatte er ferner gefunden, daß die Krone m Pfund Gewichtsverlust erlitt, so muß

$$\frac{px}{a} + \frac{(a - x)\,q}{a} = m$$

seyn. Aus dieser Gleichung läßt sich dann der Ausdruck angeben, nach welchem der Inhalt an Gold und Silber bestimmt werden kann, nämlich:

$$x = \frac{m - q}{p - q}\,a.$$

$$\text{und } a - x = \frac{p - m}{p - q}\,a.$$

Nimmt man a zu 20 ℔, p zu 1 ℔, q zu 2 ℔, m zu $1\frac{1}{4}$ ℔ an, so ist:

$$x = 15 \text{ ℔ Gold}$$
$$\text{und } a - x = 5 \text{ ℔ Silber.}$$

Auf diese Art könnte man vermittelst des specifischen Gewichts bestimmen, wie viel ein Körper, der zwei Materien enthält, von jeder Materie in sich hat. Da aber durch chemische Mischung auch die Eigenschaften der materiellen Bestandtheile Veränderungen erleiden, so kann eine Wasserprobe, wie Archimedes sie angestellt haben mag, keineswegs über die eigentliche Menge, die von jeder der beiden Materien in der Mischung enthalten ist, ein genaues Resultat liefern. Mischt man z. B. Gold und Silber zu gleichen Theilen, so wird das specifische Gewicht der Mischung keineswegs das Mittel zwischen dem specifischen Gewicht des Goldes und Silbers seyn, wie

Digitized by Google

es seyn müßte, wenn die Mischung keine Veränderung in der Dichtigkeit bewirkte.

§ 104. (Dichtigkeit der Erdkugel.) Die Dichtigkeit der Erde und ihr specifisches Gewicht gegen reines destillirtes Wasser zu bestimmen, scheint dem ersten Anblick nach eine Aufgabe zu seyn, zu deren Auflösung die Mittel fehlen. Durch die Lehre von der Gravitation und mittelst sehr feiner Untersuchungen hat man sich jedoch einen Weg zu bahnen gewußt, der ein befriedigendes Resultat herbeiführte. Bereits sind die merkwürdigen Versuche erwähnt worden, die Maskelyne über die Abweichung des Pendels von der lothrechten Lage und die wechselseitige Anziehung der Körper angestellt hat (§ 63). Aus dem kleinen Winkel, den das Pendel in dieser Abweichung machte, berechnete Maskelyne die Anziehungskraft des Berges, und verglich sie mit der der ganzen Erde, deren Größe er durch die Wirkung der Schwerkraft kannte. Aus der Vergleichung der Bergmasse mit der Masse der ganzen Erde ergab sich sodann, daß die Erde $4^1/_2$ mal dichter als eine Wasserkugel von gleichem Volumen seyn müsse.

Neuer und vollständiger sind die Versuche, die Cavendish mit Hülfe der Drehwage (§ 26) anstellte. Aus den Massen, die erforderlich waren, um die Nadel mit einer gewissen Geschwindigkeit schwingen zu lassen, und aus der Vergleichung dieser Schwingungen mit der eines Pendels, welches bloß vermöge der Schwerkraft schwingt, berechnete man beide Anziehungskräfte. Da nun auch das Volumen der Massen und das der Erde bekannt war, so konnte man hieraus einen Schluß auf ihre gegenseitige Dichtigkeit machen. Nach diesen Versuchen ist die Erde $5^1/_2$ mal so dicht als Wasser befunden worden, mithin größer als nach den Versuchen, die Maskelyne angestellt hat, was aber bei so schwierigen Untersuchungen nicht sehr auffallen kann.

Cavendish Abhandlung hierüber findet man verdeutscht und mit Zusätzen bereichert von L. W. Gilbert in den Annalen der Physik. 2r Band, 1s Stück.

---

## Zehntes Kapitel.

### Gleichgewicht und Bewegung der Luft und der Luftarten.

§ 105. (Atmosphärische Luft.) Daß die ganze Erdkugel allenthalben in einer Materie sich befindet, die nach allen Seiten hin äußerst leicht verschoben und getrennt werden kann, da ihre Cohäsion noch sehr vielmal geringer ist, als die der tropfbaren Körper, und daß man diese Materie die Luft nennt, gehört zu den Erfahrungen, die uns von Jugend auf hinlänglich bekannt sind.

Noch nicht sehr lange ist es, daß diese Luft, die als eine höchst feine, an sich unsichtbare und geruchlose, Flüssigkeit der Erde umhüllt, auch die einzige Luftart war, die man kannte. Durch die Vervollkommnung der Chemie in neuerer Zeit hat man aber noch eine Menge andere luftförmige Körper entdeckt, die zwar in vielen Eigenschaften mit der gemeinen Luft übereinstimmen, aber auch wieder durch viele andere Eigenschaften, sowohl in chemischer als mechanischer Hinsicht, von dieser und unter sich selbst wesentliche Verschiedenheiten haben. Daher man auch das Luftmeer, in

Digitized by Google

welchem die Erde steckt, und auf dessen Grunde wir überall uns befinden, die atmosphärische Luft nennt, weil wir wissen, daß in ihr noch eine ungeheure Menge wässerige, ölige, salzige und andere Dünste enthalten sind, die mit ihr um die Erde eine Dunstkugel (Atmosphaera) bilden. Jeden andern luftförmigen Körper aber nennt man eine Luftart, ein Gas.

Ungeachtet alle Luftarten, wie die gemeine Luft, sehr fein sind und eine ganz unmerkliche Cohäsion haben, so sind sie doch insgesammt undurchdringlich und wägbar, und von den tropfbaren Körpern unterscheiden sie sich hauptsächlich dadurch, daß sie das Bestreben haben, sich in einen immer größern Raum auszudehnen und überall hin zu entweichen, wenn das Gefäß, in dem sie enthalten sind, nicht von allen Seiten her dicht genug verschlossen ist. Man nennt diese Eigenschaft die Expansibilität. Eben darum, daß die tropfbaren Flüssigkeiten diese Eigenschaft nicht besitzen, kann auch das Gefäß, in dem sie enthalten sind, oben offen seyn, ohne daß deßhalb eine Entweichung des flüssigen Körpers stattfindet. Leicht ist es daher einzusehen, daß die Gesetze der tropfbaren Flüssigkeiten nur in so fern auch auf die luftförmigen ihre Anwendung finden können, in so fern man die Expansivkraft dabei nicht außer Acht läßt.

Auch Dünste und Dämpfe sind expansibel, können aber durch Abkühlung tropfbar werden. Da dieses bei keinem luftförmigen Körper der Fall ist, indem keiner derselben durch bloße Aenderung in der Temperatur tropfbar wird, so liegt eben hierin der Unterschied zwischen diesem und dem dampfförmigen Körper.

§ 106. (Chemische Eigenschaften der atmosphärischen Luft.) So lange man keine anderen luftförmigen Körper, als nur allein die atmosphärische Luft kannte, war man auch der Meinung, daß diese ein Element, d. h. ein einfacher, nicht zerlegbarer Grundstoff sey. Genauere Untersuchungen, die man bei den außerordentlich großen Fortschritten in der Naturkunde, und besonders der Chemie, über die Mineralwasser, über Auflösungen und Verbrennungen angestellt hat, haben aber gezeigt, daß die atmosphärische Luft aus einer Mischung von 21 Theilen Lebensluft, durch welche allein das Verbrennen der Körper und das Athemholen warmblütiger Thiere möglich ist, und 79 Theilen Stickluft, in welcher weder ein Feuer brennen, noch ein warmblütiges Thier athmen kann, in Verbindung mit etwas wenigem kohlsauren Gas, bestehe.

Obgleich nun diese die vorzüglichsten und wesentlichsten Bestandtheile der atmosphärischen Luft sind, so sind es doch nicht die einzigen Bestandtheile der ganzen, den Erdball umgebenden Dunsthülle. Diese enthält noch eine Menge zum Theil überaus feiner Dünste, die durch Affinität mit der Luft verbunden sind.

Hierzu gehören, außer sehr vielen Gasarten, die im Innern und auf der Oberfläche der Erde erzeugt werden, und die sich alle mit einander und mit den Bestandtheilen der Luft verbinden können, auch noch die zahllose Menge von Ausdünstungen, die sowohl von festen als tropfbaren Körpern in die Luft emporsteigen und sich mit ihr vermengen. Wie unbeschreiblich groß ist nicht schon allein die Menge des unsichtbaren Wasserdunstes, der in der Luft verbreitet ist! Denkt man nun noch ferner an die Ausdünstungen und Absonderungen, die von organischen Körpern der Luft zugeführt werden, und an die Verdunstungen, die bei deren Verwesung sich erzeugen und die sich alle mit der Luft verbinden; so wird es leicht begreif-

Digitized by Google

lich, daß die Dunstkugel der Erde ein Gemisch äußerst vieler, höchst feiner Flüssigkeiten seyn muß. Mag es auch seyn, daß die größere Menge dieser Stoffe nur den untern Luftregionen beigesellt ist, die höhern Gegenden aber eine einfachere und reinere Luft genießen, so beweisen doch Feuerkugeln, Nordlichter, Sternschnuppen und andere ähnliche Erscheinungen, die keine Folge der Vermischung der Lebensluft mit der Stickluft seyn können, und in so fern sie überhaupt als irdische Erscheinungen betrachtet werden, daß auch in diesen Gegenden die atmosphärische Luft nicht ganz rein seyn kann, sondern daß auch hier noch viele andere Stoffe, über deren Wesen wir noch nicht einmal begründete Vermuthungen aufstellen können, mit ihr verbunden seyn müssen.

§ 107. (Mechanische Eigenschaften der atmosphärischen Luft.) Jedes leere Trinkglas, jede leere Flasche, überhaupt jeder Raum, den man gewöhnlich, wenn er nicht etwas Sichtbares enthält, leer zu nennen pflegt, ist es jedoch deßhalb nicht, weil er von Luft, die überall hin sich ausbreitet, erfüllt ist; eben hieraus ergibt sich, daß die atmosphärische Luft farbenlos und unsichtbar ist. Man kann aber durch sie hindurch sehen, mithin ist sie auch durchsichtig, und da sie jedem Körper, der in den Raum, den sie erfüllt, eindringen will, einen Widerstand entgegensetzt, so ist sie auch undurchdringlich. Außer den bereits erwähnten Versuchen (§ 9) kann man sich von der Undurchdringlichkeit der Luft noch auf vielfache Weise überzeugen, wozu im Grunde schon jede Bewegung der Hand, eines Stückes Papier, eines Fächers, ein schnelles Laufen hinreicht. Auch sehen kann man es, wenn man eine enghalsige Flasche mit aufwärts gerichteter Oeffnung in Wasser taucht, wo dann die Luft in Blasen aus der Flasche entweicht. Zu den wesentlichsten mechanischen Eigenschaften der Luft gehört aber, nebst der Expansibilität, auch noch, daß sie zusammendrückbar, im gewöhnlichen Sinne des Worts ungemein elastisch und, wie alle andere Erdkörper, auch schwer ist.

Daß die atmosphärische Luft wirklich zusammendrückbar und elastisch ist, kann man schon an einer mit Luft angefüllten und zugebundenen Blase sehen, indem man durch äußeren Druck auf die Blase die darin enthaltene Luft etwas zusammendrücken kann, diese aber in dem Augenblick, wo der Druck weg ist, sogleich ihren vorigen Raum wieder ausfüllt. Auch ein Stempel, den man in einen von unten geschlossenen Stiefel, in welchen er genau paßt, hineinschiebt, wird durch die zusammengedrückte und sich wieder ausdehnende Luft etwas zurückgetrieben. Von je her kannte man auch diese Eigenschaft der atmosphärischen Luft, und hielt sie dabei für so wesentlich, daß man deßhalb auch diese Luft als einen bleibend (permanent) elastischen Körper betrachtete (§ 26), so daß sie weder durch Kälte noch durch Druck diese Eigenschaft verliere. Erst in den neuesten Zeiten haben einige berühmte Physiker, wie Faraday und Perkins, es wahrscheinlich zu machen gesucht, daß man die atmosphärische Luft in eine tropfbare Flüssigkeit verwandeln, somit ihre Elastizität aufheben könnte, wenn sie 800 bis 1200mal verdichtet würde. Dadurch aber, daß man eine Portion Luft Jahre lang zusammengepreßt erhält, ist keine Abnahme ihrer Elastizität wahrzunehmen. Auch die lustigen Tänze des Cartesianischen Teufelchens können als Beweis für die Elastizität der Luft dienen. Dieses nach seinem Erfinder und seiner gewöhnlichen Gestalt nach, so genannte Teufelchen, besteht aus einem hohlen Püppchen von gefärbtem Glase und ist etwas leichter, als ein gleiches Volumen Wasser. Man



Digitized by Google

setzt es in ein längliches mit Wasser gefülltes Glas, ein sogenanntes Zwiebelnglas, in welchem es nun, wenn es sein gehöriges Gewicht hat, nur sehr wenig hervorragt. Das Glas wird mit einer Blase zugebunden. Seitwärts hat das Püppchen eine kleine Oeffnung, und hierdurch ist dessen hohler Leib mit einer geringen Menge Luft ausgefüllt. Drückt man nun mit einem Finger auf die Blase, so pflanzt sich der Druck auf das Wasser im Glase fort, wodurch dieses in die Oeffnung des Püppchens dringt, die Luft in dessen Leibe zusammendrückt und sein Gewicht vergrößert, während sein Volumen dasselbe bleibt. Dieses verursacht, daß das Püppchen unterfinkt. So wie aber der Druck nachläßt, dehnt sich die im Püppchen zusammengedrückte Luft, vermöge ihrer Elastizität, sogleich wieder aus, und treibt das hineingedrungene Wasser wieder zur Oeffnung hinaus, wodurch das Püppchen wieder sein voriges Gewicht erlangt und in die Höhe steigt. Wer sich durch Uebung so viel Fertigkeit verschafft hat, daß er dem Püppchen allerlei Bewegungen mitzutheilen im Stande ist, kann dadurch auch dem ernstesten Zuschauer ein Lächeln abgewinnen. Drückt man gelind und etwas anhaltend, so dringt das Wasser auch nur allmählig ein, und das Püppchen finkt dann langsam unter. Durch schnellen und starken Druck dringt auch das Wasser plötzlich ein, und das Püppchen finkt schnell unter. Läßt man mit dem Drucke allmählig nach, so dehnt sich die zusammengedrückte Luft langsam wieder aus, und die Figur kommt langsam in die Höhe. Durch plötzliches Nachlassen des Druckes dehnt sich auch die Luft plötzlich wieder aus, und es findet ein schnelles Steigen statt. Wechselt man im Drücken und Nachlassen schnell ab, so entsteht ein schnelles Sinken und Steigen, eine tanzende Bewegung. Ist die Oeffnung im Püppchen, wie gewöhnlich, zur Seite angebracht, so stößt das eingedrungene Wasser, wenn man mit dem Drucke schnell nachläßt, heftig auf das Wasser im Glase. Da nun dieses, vermöge der Trägheit, nicht so schnell ausweichen kann, so findet eine Rückwirkung auf das Püppchen nach der entgegengesetzten Seite statt (§ 94) und dieses geräth nun in eine drehende Bewegung. Alle diese Versuche setzen aber voraus, daß das Püppchen die gehörige Portion Luft enthält; hat es zu viel Wasser eingeschluckt, so finkt es zu Boden, und kann nicht wieder in die Höhe kommen. Dieses findet unter Anderm auch dann statt, wenn das Wasser mit dem Püppchen darin zu lange der Wärme ausgesetzt war, und nachher wieder erkaltet ist. Durch die Wärme ist nämlich die Luft im Püppchen ausgedehnt worden, und da sie leichter als Wasser ist, so hat sie sich auf die Oberfläche des Wassers hingezogen. Wie es wieder kälter ward, zog sich die im Püppchen zurückgebliebene Luft wieder zusammen, und da die ausgetretene Luft nicht wieder zurück konnte, so drang dann zu viel Wasser ein, und das Püppchen mußte untergehen. In diesem Fall muß man es aus dem Wasser nehmen, und dieses wieder aussaugen.

Daß die atmosphärische Luft schwer ist, und darum, wie jeder andere schwere Körper, einen Druck auf ihre Unterlage ausübt, ist wohl vor alten Zeiten von einigen Naturforschern in Zweifel gezogen worden. Diese glaubten, der Druck der Luft, den man nicht fühlt, sey nicht abwärts, sondern im Gegentheil aufwärts gerichtet. Wäre dieses wirklich der Fall, so läßt sich gar nicht einsehen, wie es, ohne daß an der Gränze der Atmosphäre ein hinreichendes Hinderniß stattfindet, möglich ist, daß der Erdball, dem sie mit der ganzen Atmosphäre in seinen Bewegungen folgt, beständig von ihr umhüllt bleibt, und sie nicht längst schon, in ihrer großen Expan-

Digitized by Google

stibilität, gänzlich von ihm entwichen ist. Allein auch diese Betrachtung bei Seite gesetzt, ist man im Stande, den Druck der Luft auf ihre Unterlage, und folglich ihre Schwere, durch Versuche sattsam zu beweisen.

Die erste Veranlassung zu diesen wichtigen Versuchen, durch die auch die alte Lehre von dem Abscheu der Natur vor dem leeren Raum dahinsank, gab ein Gärtner zu Florenz. Dieser ließ 1610 eine gewöhnliche Saugpumpe anlegen, durch die er das Wasser 18 Ellen hoch zu heben gedachte. Die Pumpe gab aber, als sie fertig war, gar kein Wasser. Selbst der berühmte Galilei, der von dem Gärtner deßhalb zu Rathe gezogen ward, konnte sich diese Erscheinung nicht erklären. Zu der damaligen Zeit, wo man den Druck der Luft noch nicht kannte, war man fast allgemein der Meinung zugethan, daß der Eintritt des Wassers in die Saugröhre, deren untere Mündung in Wasser steht, aus dem Grunde erfolge, daß bei'm Pumpen die Luft aus der Röhre entweiche, wodurch ein leerer Raum entstehe. Da aber die Natur einen solchen Raum verabscheue, so trete auf eine nun nicht weiter zu erklärende Weise das Wasser dafür in die Röhre hinein, und steige durch fortgesetztes Pumpen endlich so hoch, daß es durch die Ausgußröhre abfließen könne. So trete bei jeder Handspritze, deren Stempel man in die Höhe zieht, während ihr unteres Ende unter Wasser ist, das Wasser in die Spritze hinein, weil mit dem Emporziehen des Stempels im Innern der Spritze ein leerer Raum entstehe. Die Verlegenheit des Gärtners setzte nun mit einem Male auch die Physiker in Verlegenheit, und sie wußten sich vorerst nicht anders zu helfen, als durch die Annahme, daß dieser Abscheu nicht unendlich seyn könne, sondern irgendwo seine bestimmte Gränze haben müsse. Erst im Jahr 1643 verfiel der berühmte Schüler von Galilei, Evangelista Toricelli, auf einen Versuch, aus welchem hervorgeht, daß die ganze Erscheinung lediglich dem Druck der Luft zuzuschreiben sey, und daß es mit dem Abscheu der Natur vor dem leeren Raum durchaus nichts ist. Dieser für die Physik so wichtige Versuch besteht in Folgendem, und läßt sich leicht ausführen:

Fig. 91.

Eine gläserne Röhre, von wenigstens 30 Zoll Länge, und im Lichten wenigstens eine Linie weit, die an einem Ende zugeschmolzen ist, wird, vermittelst eines gläsernen oder papiernen Trichterchens, durchaus mit Queckſilber gefüllt. Wenn sie ganz voll, mithin gar keine Luft mehr darin ist, hält man die Oeffnung mit dem Daumen zu, kehrt die Röhre um, bringt sie so geschlossen in ein Gefäß mit Queckſilber, und zieht alsdann den Daumen weg. Da nun das Queckſilber in der Röhre mit dem im Gefäße communicirt, so müßte es so lange aus der Röhre ausfließen, bis es mit dem im Gefäße gleiche Höhe hat (§ 93). Statt dessen bleibt aber eine Queckſilbersäule in der Röhre, die ungefähr 28 Pariser Zoll hoch über dem Queckſilberspiegel im Gefäße hervorsteht. Die Zeichnung (Fig. 91) stellt die gefüllte Röhre innerhalb des Gefäßes vor. Bei a ist sie geschlossen, b ist ihr offenes Ende, durch welches sie gefüllt worden ist; od ist das



Digitized by Google

Gefäß mit Queckſilber, in welchem ſie ſteht. Da man den Daumen erſt von der Oeffnung weg zog, als dieſe ſchon unter Queckſilber ſich befand, ſo konnte auch keine Luft in die Röhre eindringen, und ſo müßte, wie eben gezeigt worden iſt, das Queckſilber in der Röhre, nach hydroſtatiſchen Geſetzen, bis an e herabfließen. Da aber eine etwa 28 Zoll hohe Säule eg in der Röhre ſtehen bleibt, ſo fragt ſich:

1) Welche Kraft erhält dieſe Säule?

2) Warum behält die Säule nicht ihre Höhe bis an a hin?

3) Was enthält der Raum, nachdem das Queckſilber bis zu g hin geſunken iſt, von g bis a?

Das ſieht ſogleich Jeder ein, daß der Raum von g bis a ein wirklich völlig leerer Raum ſeyn muß. Was ſollte er auch enthalten? Das Queckſilber iſt weg, und Luft konnte ja nicht in die Röhre hinein. Wäre nun der Abſcheu vorhanden, den die Natur vor dem leeren Raum haben ſollte, ſo könnte dieſer Raum nicht exiſtiren, die Natur müßte ihn ausfüllen. Offenbar iſt alſo dieſer Abſcheu der Wahrheit entgegen und nirgends zu finden. Leicht iſt aber auch die Kraft aufzufinden, durch welche die Säule bis zu g hin erhalten wird. Die Capillarattraction (§ 28) kann hier ſchon aus dem Grunde nichts dazu beitragen, weil Glas faſt gar keine auf Queckſilber äußert, und weil es nicht einmal nothwendig iſt, daß die Röhre ſo eng ſey, daß überhaupt eine Capillarattraction ſtattfinden könne. Nur der Druck, den die Luft auf den Queckſilberſpiegel im Gefäße ausübt, und der ſich, nach hydroſtatiſchen Grundſätzen, durch alle Queckſilberſchichten bis zur Mündung b der Röhre fortpflanzt, und der, ſo lange die Röhre bei a verſchloſſen bleibt, keinen Gegendruck findet und einſeitig iſt, vermag daher dieſe Säule zu erhalten. Auch ſinkt ſie ſogleich wirklich bis nach c zurück, wenn man die Röhre bei a öffnet, die Luft nun auch von oben her drücken kann, und dadurch der einſeitige Druck von unten her wieder aufgehoben wird.

Dieſer Verſuch, aus dem ſich unbeſtreitbar ergibt, daß die Luft auf ihre Unterlage drückt, mithin ſchwer iſt, dient aber zugleich auch, dieſen Druck genau meſſen zu können. Sollte nämlich das Queckſilber in der Röhre bis an g reichen, während ſie bei a offen wäre, ſo müßte, nach den Geſetzen der communicirenden Röhren (§ 93), das Queckſilber im Gefäße ebenfalls bis nach g hinreichen. Das Gleichgewicht, das durch eine gleich hohe Queckſilberſäule erhalten würde, wird daher jetzt durch den einſeitigen Druck der Luft bewirkt, mithin iſt dieſer ſo groß, als der Druck einer Queckſilberſäule von der Höhe eg, d. i. von ungefähr 28 Zoll. Hieraus kann man ſich dann erklären, warum die Säule nicht bis zu a hin ſtehen bleibt, ſondern immer ſo weit zurück ſinkt, als der Luftdruck nicht mehr hinreicht, ſie tragen zu können.

Die ganze Vorrichtung zu dieſem Verſuche nennt man, nach dem, der ihn zuerſt angeſtellt hat, die Toricelliſche Röhre, und den völlig leeren Raum von g bis a die Toricelliſche Leere (das Toricelliſche Vacuum).

Daß man bei dieſem Verſuche die Mündung der Röhre ſo lange mit dem Daumen ſperren muß, bis ſie ſich unter Queckſilber befindet, daran iſt die außerordentliche Feinheit der Luft ſchuld. Dieſer würde, zöge man den Daumen früher weg, leicht einen Weg zwiſchen dem Queckſilber und den Wänden der Röhre finden, auf dem ſie emporſteigen kann. Dann würde ſie auch von oben drücken, und das Queckſilber müßte aus der

Digitized by Google

Röhre ausfließen. Ist aber die Oeffnung an der Röhre so klein, daß die Luft nicht hineinzudringen vermag, so bleibt die Säule in der Röhre hängen, wenn auch die Mündung nicht gesperrt wird.

Je specifisch leichter die Flüssigkeit ist, die man zu diesem Versuche nimmt, auf eine desto größere Höhe kann sie dann natürlich auch durch den Druck der Luft erhalten werden. Da nun Wasser beinahe 14mal specifisch leichter als Queckfilber ist (§ 96); so müßte derselbe Luftdruck, der eine Queckfilbersäule von 28 Zoll Höhe erhält, eine Wassersäule von 28mal 14 = 392 Zoll, ungefähr 32 Fuß, hoch erhalten. Eben darum konnte es auch dem Gärtner zu Florenz nicht gelingen, durch eine einfache Saugpumpe das Wasser über diese Höhe empor zu heben, weil der Luftdruck keine höhere Säule zu erhalten vermag. Zwei deutsche Gelehrte, Sturm und Hausen, haben auch wirklich diese Versuche angestellt, und die Beschwerlichkeiten nicht gescheuet, die Versuche mit so langen Röhren, wie sie für Wasser erforderlich sind, haben mußten. Durch diese Versuche, die mit 40 Fuß langen Röhren angestellt wurden, ist auch wirklich die Richtigkeit obiger Vergleichung zwischen der Queckfilber- und Wassersäule im Verhältniß zu ihrem specifischen Gewicht augenscheinlich geworden.

§ 108. (Größe des Luftdrucks.) Der Versuch mit der Toricellischen Röhre steht aber mit der Weite der Röhre nicht in Verbindung. Wie weit diese auch seyn mag, immer müßte eine Queckfilbersäule von etwa 28 Zoll Höhe darin stehen bleiben, so lange die Röhre, bis sie unter Queckfilber steht, gehörig gesperrt werden kann. Da man nun das Gewicht einer 28 Zoll hohen Queckfilbersäule finden kann, wenn ihre Grundfläche bekannt ist, so läßt sich hieraus die Größe des Luftdrucks bestimmen, die ihr das Gleichgewicht hält.

Ist die Grundfläche dieser Säule einen Pariser Quadratzoll groß, so beträgt die ganze Säule 28 Kubikzoll. Da ein Pariser Kubikzoll Wasser ungefähr $1^1/_3$ Pariser Loth wiegt (§ 98 und 102), so wiegt ein Kubikzoll Queckfilber nicht ganz 14mal so viel, d. i. ungefähr 18 Loth. Folglich wiegen 28 Pariser Kubikzoll Queckfilber etwas über 15 Pfund. Der Druck der Luft auf eine Queckfilbersäule von einem Pariser Quadratzoll Grundfläche beträgt demnach 15 Pariser Pfund.

Ist die Grundfläche der Säule einen Quadratschuh groß, d. i. 144 Quadratzoll, so beträgt die ganze Säule 144mal 28, d. i. 4032 Kubikzoll. Da nun 28 Kubikzoll 15 Pfund wiegen, so wiegen 4032 Kubikzoll 2160 Pfund, ungefähr 20 Centner. Demnach beträgt der Druck der Luft auf eine Queckfilbersäule von einem Quadratschuh Grundfläche ungefähr 20 Centner. Setzt man die Rechnung fort, so findet sich, daß der Druck der Luft auf eine Quadratmeile seyn muß $= 22843^2 \times 20 = 10436052980$ Centner. Hat nun die ganze Oberfläche der Erde 9278960 Quadratmeilen, so beträgt der Druck der Luft auf dieselbe 96835718159300800 Centner, beinahe 97 tausend Billionen Centner.

Die Luft drückt aber, vermöge ihrer Schwere, auf jeden irdischen Körper, und die Größe dieses Druckes läßt sich allemal dadurch berechnen, daß man die Oberfläche des Körpers als Grundfläche einer Queckfilbersäule betrachtet, die für eine Höhe von ungefähr 28 Pariser Zoll dem Druck der Luft das Gleichgewicht hält, was man den Druck einer Atmosphäre nennt. Da man nun die Oberfläche eines ausgewachsenen Menschen zu 15 Pariser Quadratschuh anschlagen kann, so ist der Druck der Luft auf diesen Körper so groß, daß er einer Queckfilbersäule von eben dieser Grundfläche und 28 Zoll Höhe das Gleichgewicht halten kann.

Digitized by Google

Eine solche Säule müßte aber, nach der eben angestellten Berechnung, 15mal 20 Centner, d. i. 300 Centner wiegen. Demnach hat der erwachsene Mensch einen Luftdruck von 300 Centner auszuhalten.

§ 109. (Compensation dieses Druckes.) Obgleich der Toricellische Versuch den Druck der Luft außer allen Zweifel setzt, und die angestellte Berechnung, die auf diesen Versuch sich gründet, durchaus richtig ist, so wird doch Mancher, von der so unerwarteten Größe dieses Druckes überrascht, nicht recht begreifen, wie der menschliche Körper einen so ungeheuern Druck zu ertragen vermöge, noch viel weniger, wie er sich so frei und leicht dabei bewegen könne. Es ist aber dabei zu erwägen: 1) daß alle Theile des Körpers vollkommen gleichförmig gedrückt werden, und daß daher je zwei und zwei einander entgegengesetzte Pressungen sich das Gleichgewicht halten, wodurch der ganze Druck in sich selbst aufgehoben wird, und den Körper nicht belästigen kann. 2) Ist in jedem Körper Luft enthalten, die der äußern entgegen drückt. In den organischen Körpern, besonders in den thierischen und vorzüglich in dem menschlichen Körper, wird dieser Gegendruck von innen nicht nur durch die Elastizität einzelner Körpertheile, sondern auch dadurch bewirkt, daß sie eine Menge tropfbarer und elastischer Flüssigkeiten enthalten. Eben darum können so viele Fische so ungeheuer tief unter dem Meere leben. Diese haben nicht nur den Druck der Luft auf die Meeresfläche, sondern auch noch den einer äußerst hohen Wassersäule zu ertragen. Durch dieses Gleichgewicht, verbunden mit der außerordentlich großen Subtilität der Luft, ist es daher auch möglich, sich, des Druckes ungeachtet, frei und leicht darin bewegen zu können. 3) Da übrigens der menschliche Körper von dem Augenblick seiner Geburt an diesen Druck zu ertragen hat, so hat der gütige Schöpfer dem Körper eine solche Einrichtung gegeben, daß alle dessen Muskeln und Nerven, überhaupt alle Theile desselben, dicht und gespannt genug werden, um diesen Druck ertragen zu können, indem sie ihn erwiedern. Gerade dieser Zustand ist von der ewigen Weisheit als der natürliche des Körpers bestimmt worden, und würde nur erst schmerzhaft werden, wenn es dem Schöpfer gefiele, den Druck wegzunehmen, ohne dem Körper eine andere Einrichtung zu geben. Daher rührt zum Theil die Unbehaglichkeit, die der Mensch auf hohen Bergen empfindet, wo die äußere Luft viel dünner, und daher nicht mehr geeignet ist, dem Druck von innen das Gleichgewicht zu halten. Auf dem Gipfel des Chimborasso drang Herrn von Humboldt und seinen Begleitern das Blut aus Lippen, Augen und Ohren. *)

§ 110. (Barometer.) Nicht nur an verschiedenen Orten, die eine höhere und tiefere Lage haben, sondern auch an einem und demselben Orte ist die Höhe der Queckfilbersäule in der Toricellischen Röhre nicht zu allen Zeiten

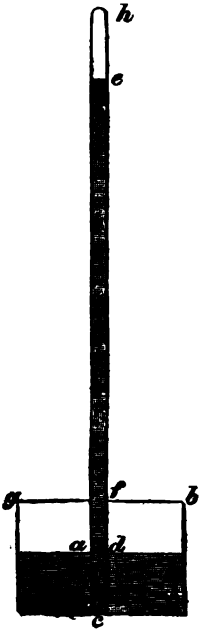
*) Obgleich durch den Toricellischen Versuch es keinem Zweifel unterliegt, daß die Luft schwer ist, und andere Versuche dieses auch von den Gasarten überhaupt, so wie von den tropfbaren Flüssigkeiten sattsam darthun, so ist dieses doch neuerdings bestritten und für grundfalsch erklärt worden. Hierher gehört namentlich die Schrift des Herrn v. Drieberg, in welcher er zu beweisen glaubt, daß beide, weder Wasser noch Luft, einen Druck ausüben. Der Verfasser verspricht dabei Dem, der ihn zu widerlegen vermöge, einen Preis von 1000, in einer spätern Auflage von 2000 Dukaten. Ließe sich aber dieser Beweis nicht schon dadurch führen, daß jeder Körper, der mit einer tropfbaren oder elastischen Flüssigkeit gefüllt ist, mehr als für sich allein wiegt, und gibt es, für die ganze mechanische Physik, ein anderes Princip, als das der Schwere, und die nothwendige Folge derselben, das Gewicht?

Digitized by Google

einerlei; sie ist, nach der Lage des Orts, bald höher, bald niedriger, und auch an demselben Orte verändert sich ihre Höhe oft in sehr kurzer Zeit. Hieraus ist klar, daß der Druck der Luft nicht nur auf der ganzen Erde sich nicht gleich seyn kann, sondern daß er auch an einerlei Ort bald größer, bald kleiner seyn muß, also überhaupt veränderlich ist. Diese Veränderlichkeit kann aber durch die Toricellische Röhre gemessen werden, wenn man sie an ein Brett befestigt, und sie mit einer Zollskale versieht, die das Steigen und Fallen der Säule bemerkbar macht. In dieser Gestalt bekommt die Toricellische Röhre den Namen Barometer (Druckmesser), auch Baroskop (Druckzeiger).

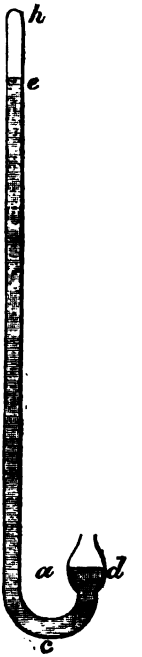
Ein vollkommen gutes Barometer zu verfertigen, ein solches, durch welches auch die allerkleinste Veränderung des Luftdrucks vermittelst der Skale sogleich bemerkbar werde, und auf welches auch weiter gar nichts einwirke, als nur dieser Druck allein, hat unüberwindliche Schwierigkeiten. Nicht nur daß eine zu sehr in's Kleine gezogene Abtheilung der Skale, welche dazu gehört, um jede noch so geringe Veränderung erkennen zu können, nicht mehr wahrnehmbar bleibt, wirkt auf das Queckſilber im Glase, außer einer, wenn auch nur geringen, Capillarattraction, auch noch die Wärme ein, bei deren Zunahme sich die Queckſilbersäule ausdehnt und höher steigt, oder sich zusammenzieht und niedriger wird, wenn die Wärme abnimmt. Es ist also nicht der Luftdruck allein, der doch eigentlich durch das Barometer gemessen werden soll, der auf den Stand der Säule, auf ihr Steigen und Fallen, Einfluß hat. Zu diesen Schwierigkeiten gesellen sich aber auch noch andere, die theils auf die Güte, theils auf den richtigen Gebrauch des Barometers Einfluß haben, und die weiterhin vorkommen werden. Kein Wunder also, daß man seit der Erfindung des Barometers, welche bald, nachdem der Toricellische Versuch bekannt wurde, gemacht worden ist, auf allerlei Einrichtungen verfiel, durch die man das Instrument der Vollkommenheit näher zu bringen suchte. Allerlei Künsteleien, die man damit vornahm, halfen wenig, vielmehr entsprachen die einfachsten Einrichtungen den Erfordernissen eines guten Barometers am mehrsten. Zu diesen gehören:

Fig. 92.




1) Das Gefäßbarometer. Dieses besteht aus einem Gefäße von Holz, das bis zu einer gewissen Höhe, z. B. bis d (Fig. 92), mit Queckſilber gefüllt und an der Toricellischen Röhre ch befestigt ist. Bei f hat das Gefäß eine kleine Oeffnung, um der Luft desto freiern Eingang zu verstatten. Man nennt es auch Phiolen-, Kapsel- oder Flaschen-Barometer, wenn das Gefäß, wie es am häufigsten vorkommt, eine solche Form hat, an die Röhre angeblasen (Fig. 93) und ganz von Glas ist.

Fig. 93.




Digitized by Google

Da sich, vermöge der hydrostatischen Gesetze für communicirende Röhren, die Säulen ac und de (Fig. 92 und 93) das Gleichgewicht halten (§ 93), so wird die jedesmalige Stärke des Luftdrucks durch die Queckſilbersäule gemeſſen, welche wie ae über der Oberfläche des Queckſilbers im Gefäße emporſteht. Nimmt der Luftdruck zu, so wird die Säule länger; nimmt er ab, so wird ſie kürzer. Dieſe Queckſilberſäule nennt man daher auch die Barometerhöhe oder den Barometerſtand. Um ſie zu erkennen, und ihre Veränderung jedesmal wahrnehmen zu können, bedient man ſich einer Zoll- und Linien-Skale, gewöhnlich nach altfranzöſiſchem Maße. So lange die Oberfläche des Queckſilbers im Gefäße ſo bleibt, wie ſie zur Zeit war, als die Skale gemacht worden iſt, behält dieſe auch in allen ihren Abtheilungen ihre Richtigkeit. Mit jeder Veränderung der Oberfläche leidet aber auch der Anfang der Skale eine Veränderung, und mit ihm alle Abtheilungen derſelben. Eben darum ſind weder die Gefäß-, noch Phiolenbarometer zu ſcharfen und genauen Beobachtungen mit völliger Sicherheit zu gebrauchen, indem ihre Skale nur auf eine beſtimmte Barometerhöhe paßt. Denn geſetzt, die Skale habe ihren Anfang bei a, ſey alſo zur Zeit, wo die Oberfläche des Queckſilbers im Gefäße bei d und die Barometerhöhe ae war, gemacht worden, ſo könnte ſie nur dann für jede Barometerhöhe gelten, wenn d immer unveränderlich bliebe. Daß dieſes nicht der Fall ſeyn kann, iſt leicht einzuſehen, weil b ſinken muß, wenn die Barometerhöhe zu-, und ſteigen muß, wenn ſie abnimmt. In beiden Fällen iſt der Anfangspunkt der Skale anders, als er zur Zeit ihrer Verfertigung geweſen iſt; im erſten Falle iſt er über a hinauf, im zweiten Falle unter a herab gedrückt. Alle übrigen Abtheilungen der Skale haben ſich hierdurch mit verändert, und die Zahl, welche die jetzige Barometerhöhe angeben ſoll, iſt daher nicht mehr paſſend.

Vermindert, jedoch nicht völlig aufgehoben, wird dieſe Unzuverläſſigkeit der Skale, wenn das Gefäß oder die Phiole beträchtlich weiter als die Röhre iſt, weil alsdann eine Veränderung in der Barometerhöhe keine bedeutende Veränderung in der Oberfläche des Queckſilbers im Gefäße oder der Phiole nach ſich zieht. Iſt der Durchmeſſer des Gefäßes oder der Phiole zehnmal größer, als der der Röhre, ſo wird, wenn die Barometerhöhe um einen Zoll ſich verändert, dieſer Zoll im Gefäße oder der Phiole auf eine hundertmal größere Fläche vertheilt, und daher die Oberfläche des Queckſilbers erſt um den hundertſten Theil eines Zolles verändert werden. Der Fehler, die Skale für jeden Barometerſtand als unveränderlich anzuſehen, iſt alſo hierdurch ſchon beträchtlich vermindert worden, und wird es um ſo mehr, je mehr dieſes Verhältniß zunimmt. Unter den neueſten Gefäßbarometern iſt das Fortin'ſche eines der vorzüglichſten.

2) Das Heberbarometer. Dieſes beſteht aus einer einzigen Röhre, die unten umgebogen iſt, daher zwei Schenkel hat, die einander gleichlaufend ſind (Fig. 94). Der längere Schenkel fh iſt bei h zugeſchmolzen, der kürzere fb iſt, für den freien Eingang der Luft, bei b offen. Sind beide Schenkel gehörig calibrirt, d. h. unterſucht worden, ob ſie genau von gleicher Weite ſind, ſo findet keine Capillarattraction, ſo wie auch keine Unzuverläſſigkeit der Skale durch Veränderung der Barometerhöhe mehr ſtatt, weil alsdann in beiden Schenkeln die Veränderungen jedesmal völlig gleichförmig ſind. Läßt man die Skale bei f anfangen, und trägt ſie von da nach h hinauf, ſo darf man nur die Säule af, die

Digitized by Google

Fig. 94.

mit df im hydrostatischen Gleichgewicht ist, von ef abziehen, dann bleibt ae übrig, welche nun allemal die wahre Barometerhöhe ist. Um die Subtraction zu vermeiden, gibt man dem Heberbarometer zwei Skalen, eine für den langen, und eine andere für den kurzen Schenkel. Die Skale an dem langen Schenkel geht von Null (0) aufwärts nach h zu, die an dem kurzen Schenkel geht von eben diesem 0 abwärts nach f hin. Der Nullpunkt selbst aber ist so gewählt, daß das Queckſilber in dem langen Schenkel nie so weit fällt, und in dem kurzen nie so hoch steigt. Man nehme einmal an, der Druck der Luft sey so gering, daß daß das Queckſilber im kurzen Schenkel wirklich bis an 0 stehe. In diesem Falle würde die Queckſilbersäule, die im langen Schenkel über 0 nach h zu steht, die Barometerhöhe seyn. Steigt nun die Säule im langen Schenkel, so fällt sie um eben so viel in dem kurzen unter 0 herab, und dann müßte man die Länge, um welche sie in dem kurzen Schenkel gefallen ist, zu der Queckſilbersäule noch addiren, die im langen Schenkel über 0 steht, um die wahre Barometerhöhe zu haben. Hierzu dienen denn die beiden Skalen. Gesetzt, das Queckſilber steht im langen Schenkel auf 19 Zoll 3 Linien über Null, und im kurzen Schenkel auf 7 Zoll 10 Linien unter Null, so wäre die Barometerhöhe 27 Zoll 1 Linie. Bei dieser Art Heberbarometer wird demnach die Barometerhöhe durch die Addition beider Skalen gefunden, die Veränderung des Luftdrucks aber dadurch, daß man die Veränderung an einer Skale doppelt nimmt. Hätte z. B. das Queckſilber im langen Schenkel auf 19 Zoll 3 Linien gestanden, und wäre auf 19 Zoll gefallen, so ist die Stärke des Luftdrucks um eine Queckſilbersäule von 6 Linien oder einem halben Zoll geringer geworden. Zu genauen Versuchen ist daher das Heberbarometer, dessen Einrichtung auch noch anderer Art seyn kann, weit brauchbarer als das Gefäß- und Phiolenbarometer.

Wie wichtig aber für genaue Versuche auch nur eine kleine Veränderung in der Barometerhöhe ist, läßt sich schon daraus abnehmen, daß eine einzige Linie, um welche die Barometerhöhe sich verändert, für den Druck der Luft schon $6\frac{1}{2}$ ℔ beträgt, wenn die Grundfläche des Körpers, der den Druck zu ertragen hat, ein Quadratschuh groß ist. Da nämlich dieser Druck auf eine solche Grundfläche für 28 Zoll oder 336 Linien Höhe 2160 ℔ beträgt, so kann man nach der Regel Detri finden, daß er für jede Linie $6\frac{1}{3}$ ℔ seyn muß. Durch fortgesetzte Berechnung findet sich, daß eine jede Linie Aenderung in der Barometerhöhe den Druck der Luft auf den Körper eines ausgewachsenen Menschen, wenn man dessen Oberfläche zu 15 Quadratschuh rechnet, um etwa 97 ℔ verändere. Daraus geht hervor, daß eine Aenderung von 6 Linien beinahe 600 ℔, also fast den fünfzigsten Theil, und eine Aenderung von einem Zoll fast den fünfundzwanzigsten Theil des Luftdrucks ändere, den der Körper zu tragen hat. Mitunter kann hierin wohl eine Ursache mit liegen, daß so viele Personen, besonders solche, die kränklicher und zarter Constitution sind, bei sehr hohem Barometerstand sich übler fühlen, als zur Zeit, wo dieser niedriger steht, während solche, die gesund und kräftig sind, umgekehrt bei niedrigem Barometerstand öfters eine Abnahme ihrer Lebensthätigkeit ver-

Digitized by Google

spüren. Daher auch die Mattigkeit, die man auf hohen Bergen empfindet, da hier die Luft so viel dünner ist.

§ 111. (Erfordernisse guter Barometer.) Wesentliche Eigenschaften eines guten Barometers sind folgende:

1) Die Toricellische Röhre muß trocken seyn, damit keine Dünste, nicht zu eng, und durchaus von gleicher Weite seyn, damit keine Capillarattractionen auf die Barometerhöhe einwirken.

2) Die Toricellische Leere muß völlig trocken und leer seyn, damit die Queckfilbersäule von oben her keinen Druck erleide.

3) Jedes auch noch so reine Queckfilber enthält immer Lufttheilchen, die ihm adhäriren. Ist das Barometer mit solchem Queckfilber gefüllt, so steigen diese Lufttheilchen nach und nach in die Toricellische Leere hinauf, und stören, durch ihren Gegendruck und durch ihre verschiedenen Ausdehnungen in verschiedenen Wärmegraden, den richtigen Barometerstand. Diesem zu begegnen, füllt man gute Barometer mit Queckfilber, das durch sorgfältiges und mehrmaliges Kochen von den anhaftenden Lufttheilchen befreit worden ist. Uebrigens muß das Queckfilber vollkommen rein von allen sonstigen Beimischungen seyn.

4) Die Skale muß sehr richtig und genau abgetheilt, mit der Queckfilbersäule parallel, und nach einem bestimmten Längenmaße, das mit jedem andern in einem bekanten Verhältniß steht, und verglichen werden kann, verzeichnet seyn. Willkürliche Maßbestimmungen, z. B. eine Abtheilung der Skale nach unbestimmt angenommenen Graden, sind ganz untauglich zu Angaben für Barometerhöhen. Bei den englischen Barometern ist gewöhnlich englisches Längenmaß im Gebrauche, bei uns in der Regel altfranzösisches, in Frankreich auch metrisches Maß. Ein Barometerstand in einem dieser Maße kann mit einem andern, dessen Skale ein anderes Maß hat, nur dann erst übereinstimmen, wenn sie durch Rechnung auf einander reducirt worden sind. Für die drei angegebenen Maßarten kann dieses durch folgende Bestimmungen geschehen:

1 Linie engl. Maß = 0,0021166 Meter, oder 0,938293 franz. Linien.

1 franz. Linie = 0,0022558 Meter, oder 1,0657797 engl. Linien.

1 Meter = 443,295936 franz. Linien, oder 472,455825 engl. Linien.

Beispiele. 1) Was ist der Barometerstand in franz. Linien und Meter, von 28½ engl. Zoll?

28½ Zoll = 342 Linien × 0,938293 = 320,9 franz. Linien, oder 26 Zoll 8,9 Linien. Ferner 342 Linien × 0,0021166 = 0m,724.

2) Was ist der Barometerstand in Meter und engl. Linien von 28½ franz. Zoll?

342 Linien × 0,0022558 = 0m,771. Ferner 342 Linien × 1,0657797 = 364,5 engl. Linien, oder 30 Zoll 4,5 Linien.

3) Was ist der Barometerstand in franz. und engl. Linien von 0m,76?

0,76 × 443,295936 = 336,9 franz. Linien, oder 28 Zoll 0,9 Linien. Ferner 0,76 × 472,455825 = 359,07 engl. Linien oder 29 Zoll 11,07 Linien.

Die ganze Skale, von Null an durch die ganze Toricellische Röhre bis zu ihrem geschlossenen Ende hinauf zu tragen, ist bei solchen Barometern, die man für den gewöhnlichen Gebrauch hält, schon aus dem Grunde überflüssig, weil das Queckfilber nie bis zu Null sinkt, und nie

Digitized by Google

bis an das geschlossene Ende steigt. Es ist vollkommen hinreichend, wenn die Skale, wie dieses auch für solche Barometer der Fall ist, etwa vom 25sten bis zum 29sten Zoll sich erstreckt, und jeder Zoll genau in Linien getheilt ist. Theile von der Linie muß man nach dem Augenmaß schätzen, es sey denn, daß die Skale, wie dieses bei guten Barometern der Fall ist, einen Nonius hat, mit welchem diese Theile zu messen sind.

§ 112. (Correctionen.) Das Barometer mag aber mit aller nur erdenklichen Genauigkeit verfertigt seyn, so wird doch auch die Zu- und Abnahme der Wärme einen Einfluß auf die Bärometerhöhe haben. Gleichen Luftdruck vorausgesetzt, wird die Queckſilberſäule bei warmer Witterung immer etwas höher stehen, als wenn es kalt ist, weil das Queckſilber durch die Wärme etwas ausgedehnt wird. Für sehr genaue Beobachtungen ist dieses allerdings zu beachten, wenn schon es für minder genaue und gewöhnliche nicht sehr von Bedeutung ist. Berühmte Physiker haben diesen Einfluß sorgfältig untersucht, und gefunden, daß eine Queckſilberſäule sich um den 4440sten Theil ihrer Länge ändere, für jeden Grad des 80gradigen, und um den 5550sten Theil für jeden Grad des 100gradigen Thermometers. Will man nun den Barometerstand jedesmal für einen fest bestimmten Wärmegrad angeben, z. B. für den natürlichen Gefrierpunkt, welchen man jetzt allgemein als normal zur Bestimmung der Barometerhöhe annimmt, so muß man den 4440sten oder 5550sten Theil von der ganzen Länge der Queckſilberſäule so vielmal abziehen, so viel Grade das eine oder das andere Thermometer über dem natürlichen Gefrierpunkt steht. Im umgekehrten Falle, wenn das Thermometer unter dem natürlichen Gefrierpunkt steht, muß man, so viel Grade dieses beträgt, so vielmal diesen Theil der ganzen Barometerhöhe noch hinzusetzen. Man nennt dieses die Correction des Queckſilbers wegen der Wärme. Deßwegen befestigt man bei Barometern, die zu genauen Beobachtungen bestimmt sind, noch ein eigenes Thermometer auf demselben Brette, woran die Barometerskale sitzt.

Beispiele. 1) Die Barometerhöhe sey 27½ Zoll, oder 330 Linien, bei einer Wärme von 24 Grad des 80theiligen Thermometers. Man schließe nun $1 : 24 = \frac{330}{4440} : x$, also $x = 1{,}78$ Linien. Diese von 330 abgezogen, gibt 328,22 Linien, oder 27 Zoll 4,22 Linien als eigentliche Barometerhöhe für den natürlichen Gefrierpunkt des Thermometers. Für 24 Grad des 100theiligen Thermometers wäre die Proportion:

$1 : 24 = \frac{330}{5550} : x$, also $x = 1{,}42$ Linien, Rest 328,58 Linien, oder 27 Zoll 4,58 Linien Barometerhöhe für den Gefrierpunkt dieses Thermometers.

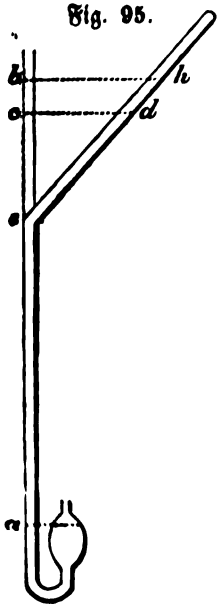
2) Die Barometerhöhe sey 27 Zoll oder 324 Linien, und das Thermometer stehe auf 12 Grad unter dem natürlichen Gefrierpunkt. Rechnet man wie vorhin, so findet sich eine Correction von beinahe 0,9 Linien. Diese zu der Barometerhöhe addirt, gibt 27 Zoll und 0,9 Linien als eigentliche Höhe für den natürlichen Gefrierpunkt des 80theiligen Thermometers.

Auch das vorzüglichste Barometer kann keine wahre Barometerhöhe angeben, wenn es zur Zeit der Beobachtung nicht vollkommen senkrecht steht. Wenn es aufgehängt wird, muß man daher das Senkblei zu Hülfe nehmen. Weil sich das Queckſilber, besonders in ausgekochten Barometern, zuweilen etwas an die Röhre anhängt, so ist es der Genauigkeit auch

Digitized by Google

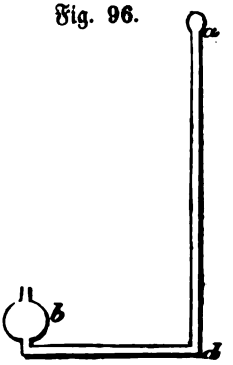
zuträglich, durch gelindes Anschlagen diese Anhaftung zu lösen. Auch muß das Auge bei Beobachtung des Barometerstandes mit dem höchsten Punkt der Queckſilbersäule ſo viel als möglich genau horizontal, nur nach dieſem höchſten Punkt, alſo nach der Mitte, und nicht nach dem Rande des Queckſilbers gerichtet ſeyn.

Fig. 95.




§ 113. (Einige ältere Barometerarten.) 1) Das Barometer von Morland (Fig. 95). Dieſes Barometer iſt bei e unter einem ſchiefen Winkel umgebogen. Würde das Queckſilber in der geraden Röhre bis c ſtehen, ſo ſteht es hier in d, und ſteigt hier bis h, wenn es dort bis b ſtiege. Da es nun hier in einem größeren Raum ſteigt und fällt, als er in der geraden Röhre iſt, ſo können die Unterabtheilungen des Zolls ſichtbarer gemacht werden.

Fig. 96.



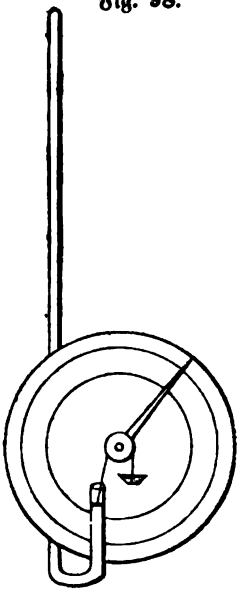

2) Das Barometer von Bernoulli (Fig. 96). Dieſes beſteht aus 2 Schenkeln, einem horizontalen und einem vertikalen, die bei d einen rechten Winkel bilden, ebenfalls dazu beſtimmt, kleine Veränderungen der Skale durch den obern Cylinder a beſſer ſichtbar zu machen, und den Nullpunkt der Skale feſt zu erhalten. Das Gefäß b dient dazu, daß bei ſehr niedrigem Barometerſtand kein Queckſilber aus der Röhre ausfließen kann.

Fig. 97.

3) Das Doppelbarometer von Huygens (Fig. 97). Dieſes beſteht aus zwei Röhren ca und bd, die mit einander Gemeinſchaft haben. Die Röhre ca, die ſehr eng iſt, iſt bei c offen und mit gefärbtem Weingeiſt gefüllt, der in a, wo ein weites Gefäß iſt, das Queckſilber berührt, das in der Röhre bd ſteht. Dieſe Röhre hat bei b ebenfalls ein weites Gefäß, und da dieſes geſchloſſen iſt, ſo wird durch den veränderlichen Druck der Luft auf c das Queckſilber im Gefäße bald ſteigen, bald fallen. Steigen wird es, wenn der Weingeiſt fällt, und fallen, wenn dieſer ſteigt. Da die Röhre ca ſehr enge iſt, ſo muß der Stand des Weingeiſtes ſich ſchon beträchtlich verändern, wenn der Stand des Queckſilbers nur eine kleine Veränderung erleidet, und eben dadurch kann das Steigen und Fallen beſſer ſichtbar werden. Daher befindet ſich die Skale an der Röhre ca, wo denn das Fallen des Weingeiſts eine Zunahme, deſſen Steigen eine Abnahme des Luftdrucks anzeigt. Da hier die Luft nicht unmittelbar auf das Queckſilber drückt, der Weingeiſt zu viel verdunſtet, und überhaupt von Wärme und Kälte noch mehr als das Queckſilber zu leiden hat, auch der Capillarattraction mehr unterworfen iſt, ſo leiden dieſe Barometer an Mängeln, die es ganz unbrauchbar machen.

Digitized by Google

Fig. 98.



4) Das Radbarometer von Hook (Fig. 98). Dieſes iſt ein Heberbarometer. Auf dem Queckſilber im kurzen Schenkel ruht ein kleines Gewichtchen, das an einem Faden hängt. Dieſer iſt um ein leicht bewegliches Röllchen geſchlagen, und trägt an ſeinem andern Ende ein nur ſehr wenig leichteres Gegengewichtchen. So wie der Stand des Queckſilbers im Barometer eine Veränderung erleidet, muß das Gewichtchen, das auf dem Queckſilber liegt, in die Höhe gehen, wenn das Barometer fällt, und tiefer ſinken, wenn es ſteigt, und ſo allemal das Röllchen in Bewegung ſetzen. Die Achſe des Röllchens trägt einen Zeiger, der auf einer großen Scheibe ſich bewegt, auf welcher ſich die Zolle und Linien, ja ſogar Theile der Linie, ſichtbarer darſtellen faſſen.

5) Das Reiſebarometer. Es iſt in der Regel ein Heberbarometer, das ſich bequem und ſicher mit auf Reiſen nehmen, und in der Hand tragen läßt. Da ſich im Tragen die Luft leicht über das Queckſilber, hinauf drängen würde, ſo ſind die Reiſebarometer ſo eingerichtet, daß man das Queckſilber, nachdem man es bis an das Ende des langen Schenkels hat treten laſſen, ſo lange geſperrt halten kann, bis man an dem Ort der Beoachtung angekommen iſt. Jetzt macht man auch tragbare Gefäßbarometer.

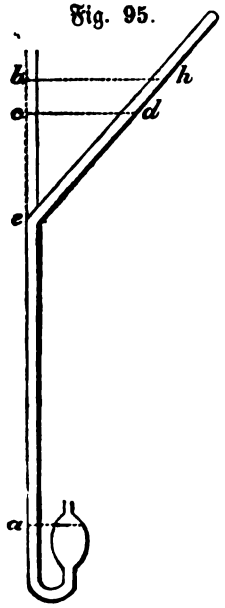
§ 114. (Regelmäßige Oscillationen des Barometers.) Außer und zugleich mit den unregelmäßigen Veränderungen des Barometers, die jedoch auf hohen Bergen nicht ſo häufig ſind, als in tiefer liegenden Gegenden, ſteigt und fällt der Barometerſtand jeden Tag auch regelmäßig zu beſtimmten Stunden. Unter dem Aequator, wo überhaupt die Barometerſtände weit weniger ſchwanken, als dieſes in höhern Breitengraden der Fall iſt, zeigen ſich zwar dieſe regelmäßigen täglichen Oscillationen am deutlichſten, indeß ſind ſie auch in dieſen wahrgenommen worden, zur Zeit, wo gerade die oft häufig vorkommenden regelloſen Veränderungen ſeltener waren, und die Beobachtungen mit ſehr vorzüglichen Inſtrumenten angeſtellt worden ſind. Dergleichen Beobachtungen gemäß tritt täglich der größte Barometerſtand um oder bald nach 9 Uhr Morgens ein, von wo an er regelmäßig bis um 4 Uhr Abends abnimmt, von da an, wo er am kleinſten iſt, wieder zu ſteigen anfängt, bis um 11 Uhr Abends, und dann wieder fällt, bis um 4 Uhr Morgens, wo er ſeinen niedrigſten Stand erreicht.

Dieſer merkwürdige periodiſche Wechſel, der in den Tropenländern faſt als Uhr dienen kann, leitet auf den muthmaßlichen Schluß hin, daß die Atmoſphäre eine Ebbe und Fluth haben müſſe, wie wir eine ſolche im Meere kennen. Der jedesmalige höchſte Barometerſtand iſt die Zeit der Fluth, der niedrigſte die der Ebbe. Eben die Urſachen, namentlich der mächtige Einfluß der Sonne und des Mondes, welche bei der Ebbe und Fluth des Meeres ſich wirkſam zeigen, müſſen auch dieſelbe Erſcheinung in dem die Erde umgebenden Luftmeer bewirken, und zwar, wegen deſſen großer Beweglichkeit, in noch verſtärktem Grade. Dieſe Ebbe und Fluth, ſo beträchtlich ſie auch an der äußerſten Gränze der Atmoſphäre ſeyn mag, iſt jedoch

Digitized by Google

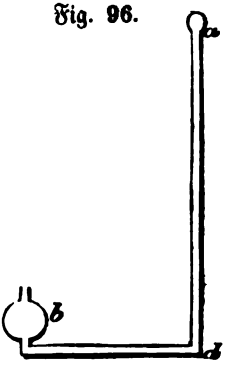
zuträglich, durch gelindes Anſchlagen dieſe Anhaftung zu löſen. Auch muß das Auge bei Beobachtung des Barometerſtandes mit dem höchſten Punkt der Queckſilberſäule ſo viel als möglich genau horizontal, nur nach dieſem höchſten Punkt, alſo nach der Mitte, und nicht nach dem Rande des Queckſilbers gerichtet ſeyn.

Fig. 95.




§ 113. (Einige ältere Barometerarten.) 1) Das Barometer von Morland (Fig. 95). Dieſes Barometer iſt bei e unter einem ſchiefen Winkel umgebogen. Würde das Queckſilber in der geraden Röhre bis c ſtehen, ſo ſteht es hier in d, und ſteigt hier bis h, wenn es dort bis b ſtiege. Da es nun hier in einem größeren Raum ſteigt und fällt, als er in der geraden Röhre iſt, ſo können die Unterabtheilungen des Zolls ſichtbarer gemacht werden.

Fig. 96.



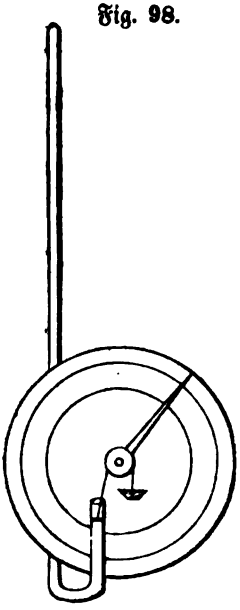

2) Das Barometer von Bernoulli (Fig. 96). Dieſes beſteht aus 2 Schenkeln, einem horizontalen und einem vertikalen, die bei d einen rechten Winkel bilden, ebenfalls dazu beſtimmt, kleine Veränderungen der Skale durch den obern Cylinder a beſſer ſichtbar zu machen, und den Nullpunkt der Skale feſt zu erhalten. Das Gefäß b dient dazu, daß bei ſehr niedrigem Barometerſtand kein Queckſilber aus der Röhre ausfließen kann.

Fig. 97.

3) Das Doppelbarometer von Huygens (Fig. 97). Dieſes beſteht aus zwei Röhren ca und bd, die mit einander Gemeinſchaft haben. Die Röhre ca, die ſehr eng iſt, iſt bei c offen und mit gefärbtem Weingeiſt gefüllt, der in a, wo ein weites Gefäß iſt, das Queckſilber berührt, das in der Röhre bd ſteht. Dieſe Röhre hat bei b ebenfalls ein weites Gefäß, und da dieſes geſchloſſen iſt, ſo wird durch den veränderlichen Druck der Luft auf c das Queckſilber im Gefäße bald ſteigen, bald fallen. Steigen wird es, wenn der Weingeiſt fällt, und fallen, wenn dieſer ſteigt. Da die Röhre ca ſehr enge iſt, ſo muß der Stand des Weingeiſtes ſich ſchon beträchtlich verändern, wenn der Stand des Queckſilbers nur eine kleine Veränderung erleidet, und eben dadurch kann das Steigen und Fallen beſſer ſichtbar werden. Daher befindet ſich die Skale an der Röhre ca, wo denn das Fallen des Weingeiſtes eine Zunahme, deſſen Steigen eine Abnahme des Luftdrucks angibt. Da hier die Luft nicht unmittelbar auf das Queckſilber drückt, der Weingeiſt zu viel verdunſtet, und überhaupt von Wärme und Kälte noch mehr als das Queckſilber zu leiden hat, auch der Capillarattraction mehr unterworfen iſt, ſo leidet dieſes Barometer [illegible]n, die es ganz unbrauchbar machen.

Digitized by Google

Fig. 98.



4) Das Radbarometer von Hook (Fig. 98). Dieſes iſt ein Heberbarometer. Auf dem Queckſilber im kurzen Schenkel ruht ein kleines Gewichtchen, das an einem Faden hängt. Dieſer iſt um ein leicht bewegliches Röllchen geſchlagen, und trägt an ſeinem andern Ende ein nur ſehr wenig leichteres Gegengewichtchen. So wie der Stand des Queckſilbers im Barometer eine Veränderung erleidet, muß das Gewichtchen, das auf dem Queckſilber liegt, in die Höhe gehen, wenn das Barometer fällt, und tiefer ſinken, wenn es ſteigt, und ſo allemal das Röllchen in Bewegung ſetzen. Die Achſe des Röllchens trägt einen Zeiger, der auf einer großen Scheibe ſich bewegt, auf welcher ſich die Zolle und Linien, ja ſogar Theile der Linie, ſichtbarer darſtellen laſſen.

5) Das Reiſebarometer. Es iſt in der Regel ein Heberbarometer, das ſich bequem und ſicher mit auf Reiſen nehmen, und in der Hand tragen läßt. Da ſich im Tragen die Luft leicht über das Queckſilber, hinauf drängen würde, ſo ſind die Reiſebarometer ſo eingerichtet, daß man das Queckſilber, nachdem man es bis an das Ende des langen Schenkels hat treten laſſen, ſo lange geſperrt halten kann, bis man an dem Ort der Beoachtung angekommen iſt. Jetzt macht man auch tragbare Gefäßbarometer.

**§ 114.** (Regelmäßige Oscillationen des Barometers.) Außer und zugleich mit den unregelmäßigen Veränderungen des Barometers, die jedoch auf hohen Bergen nicht ſo häufig ſind, als in tiefer liegenden Gegenden, ſteigt und fällt der Barometerſtand jeden Tag auch regelmäßig zu beſtimmten Stunden. Unter dem Aequator, wo überhaupt die Barometerſtände weit weniger ſchwanken, als dieſes in höhern Breitengraden der Fall iſt, zeigen ſich zwar dieſe regelmäßigen täglichen Oscillationen am deutlichſten, indeß ſind ſie auch in dieſen wahrgenommen worden, zur Zeit, wo gerade die oft häufig vorkommenden regelloſen Veränderungen ſeltener waren, und die Beobachtungen mit ſehr vorzüglichen Inſtrumenten angeſtellt worden ſind. Dergleichen Beobachtungen gemäß tritt täglich der größte Barometerſtand um oder bald nach 9 Uhr Morgens ein, von wo an er regelmäßig bis um 4 Uhr Abends abnimmt, von da an, wo er am kleinſten iſt, wieder zu ſteigen anfängt, bis um 11 Uhr Abends, und dann wieder fällt, bis um 4 Uhr Morgens, wo er ſeinen niedrigſten Stand erreicht.

Dieſer merkwürdige periodiſche Wechſel, der in den Tropenländern faſt als Uhr dienen kann, leitet auf den muthmaßlichen Schluß hin, daß die Atmoſphäre eine Ebbe und Fluth haben müſſe, wie wir eine ſolche im Meere kennen. Der jedesmalige höchſte Barometerſtand iſt die Zeit der Fluth, der niedrigſte die der Ebbe. Eben die Urſachen, namentlich der mächtige Einfluß der Sonne und des Mondes, welche bei der Ebbe und Fluth des Meeres ſich wirkſam zeigen, müſſen auch dieſelbe Erſcheinung in dem die Erde umgebenden Luftmeer bewirken, und zwar, wegen deſſen großer Beweglichkeit, in noch verſtärktem Grade. Dieſe Ebbe und Fluth, ſo beträchtlich ſie auch an der äußerſten Gränze der Atmoſphäre ſeyn mag, iſt jedoch

Digitized by Google

Gefäß mit Queckſilber, in welchem ſie ſteht. Da man den Daumen erſt von der Oeffnung weg zog, als dieſe ſchon unter Queckſilber ſich befand, ſo konnte auch keine Luft in die Röhre eindringen, und ſo müßte, wie eben gezeigt worden iſt, das Queckſilber in der Röhre, nach hydroſtatiſchen Geſetzen, bis an e herabfließen. Da aber eine etwa 28 Zoll hohe Säule eg in der Röhre ſtehen bleibt, ſo fragt ſich:

1) Welche Kraft erhält dieſe Säule?

2) Warum behält die Säule nicht ihre Höhe bis an a hin?

3) Was enthält der Raum, nachdem das Queckſilber bis zu g hin geſunken iſt, von g bis a?

Das ſieht ſogleich Jeder ein, daß der Raum von g bis a ein wirklich völlig leerer Raum ſeyn muß. Was ſollte er auch enthalten? Das Queckſilber iſt weg, und Luft konnte ja nicht in die Röhre hinein. Wäre nun der Abſcheu vorhanden, den die Natur vor dem leeren Raum haben ſollte, ſo könnte dieſer Raum nicht exiſtiren, die Natur müßte ihn ausfüllen. Offenbar iſt alſo dieſer Abſcheu der Wahrheit entgegen und nirgends zu finden. Leicht iſt aber auch die Kraft aufzufinden, durch welche die Säule bis zu g hin erhalten wird. Die Capillarattraction (§ 28) kann hier ſchon aus dem Grunde nichts dazu beitragen, weil Glas faſt gar keine auf Queckſilber äußert, und weil es nicht einmal nothwendig iſt, daß die Röhre ſo eng ſey, daß überhaupt eine Capillarattraction ſtattfinden könne. Nur der Druck, den die Luft auf den Queckſilberſpiegel im Gefäße ausübt, und der ſich, nach hydroſtatiſchen Grundſätzen, durch alle Queckſilberſchichten bis zur Mündung b der Röhre fortpflanzt, und der, ſo lange die Röhre bei a verſchloſſen bleibt, keinen Gegendruck findet und einſeitig iſt, vermag daher dieſe Säule zu erhalten. Auch ſinkt ſie ſogleich wirklich bis nach c zurück, wenn man die Röhre bei a öffnet, die Luft nun auch von oben her drücken kann, und dadurch der einſeitige Druck von unten her wieder aufgehoben wird.

Dieſer Verſuch, aus dem ſich unbeſtreitbar ergibt, daß die Luft auf ihre Unterlage drückt, mithin ſchwer iſt, dient aber zugleich auch, dieſen Druck genau meſſen zu können. Sollte nämlich das Queckſilber in der Röhre bis an g reichen, während ſie bei a offen wäre, ſo müßte, nach den Geſetzen der communicirenden Röhren (§ 93), das Queckſilber im Gefäße ebenfalls bis nach g hinreichen. Das Gleichgewicht, das durch eine gleich hohe Queckſilberſäule erhalten würde, wird daher jetzt durch den einſeitigen Druck der Luft bewirkt, mithin iſt dieſer ſo groß, als der Druck einer Queckſilberſäule von der Höhe eg, d. i. von ungefähr 28 Zoll. Hieraus kann man ſich dann erklären, warum die Säule nicht bis zu a hin ſtehen bleibt, ſondern immer ſo weit zurück ſinkt, als der Luftdruck nicht mehr hinreicht, ſie tragen zu können.

Die ganze Vorrichtung zu dieſem Verſuche nennt man, nach dem, der ihn zuerſt angeſtellt hat, die Toricelliſche Röhre, und den völlig leeren Raum von g bis a die Toricelliſche Leere (das Toricelliſche Vacuum).

Daß man bei dieſem Verſuche die Mündung der Röhre ſo lange mit dem Daumen ſperren muß, bis ſie ſich unter Queckſilber befindet, daran iſt die außerordentliche Feinheit der Luft ſchuld. Dieſer würde, zöge man den Daumen früher weg, leicht einen Weg zwiſchen dem Queckſilber und den Wänden der Röhre finden, auf dem ſie emporſteigen kann. Dann würde ſie auch von oben drücken, und das Queckſilber müßte aus der

Digitized by Google

Röhre ausfließen. Ist aber die Oeffnung an der Röhre so klein, daß die Luft nicht hineinzudringen vermag, so bleibt die Säule in der Röhre hängen, wenn auch die Mündung nicht gesperrt wird.

Je specifisch leichter die Flüssigkeit ist, die man zu diesem Versuche nimmt, auf eine desto größere Höhe kann sie dann natürlich auch durch den Druck der Luft erhalten werden. Da nun Wasser beinahe 14mal specifisch leichter als Queckfilber ist (§ 96); so müßte derselbe Luftdruck, der eine Queckfilbersäule von 28 Zoll Höhe erhält, eine Wassersäule von 28mal 14 = 392 Zoll, ungefähr 32 Fuß, hoch erhalten. Eben darum konnte es auch dem Gärtner zu Florenz nicht gelingen, durch eine einfache Saugpumpe das Wasser über diese Höhe empor zu heben, weil der Luftdruck keine höhere Säule zu erhalten vermag. Zwei deutsche Gelehrte, Sturm und Hausen, haben auch wirklich diese Versuche angestellt, und die Beschwerlichkeiten nicht gescheuet, die Versuche mit so langen Röhren, wie sie für Wasser erforderlich sind, haben mußten. Durch diese Versuche, die mit 40 Fuß langen Röhren angestellt wurden, ist auch wirklich die Richtigkeit obiger Vergleichung zwischen der Queckfilber- und Wassersäule im Verhältniß zu ihrem specifischen Gewicht augenscheinlich geworden.

§ 108. (Größe des Luftdrucks.) Der Versuch mit der Toricellischen Röhre steht aber mit der Weite der Röhre nicht in Verbindung. Wie weit diese auch seyn mag, immer müßte eine Queckfilbersäule von etwa 28 Zoll Höhe darin stehen bleiben, so lange die Röhre, bis sie unter Queckfilber steht, gehörig gesperrt werden kann. Da man nun das Gewicht einer 28 Zoll hohen Queckfilbersäule finden kann, wenn ihre Grundfläche bekannt ist, so läßt sich hieraus die Größe des Luftdrucks bestimmen, die ihr das Gleichgewicht hält.

Ist die Grundfläche dieser Säule einen Pariser Quadratzoll groß, so beträgt die ganze Säule 28 Kubikzoll. Da ein Pariser Kubikzoll Wasser ungefähr $1^1/_3$ Pariser Loth wiegt (§ 98 und 102), so wiegt ein Kubikzoll Queckfilber nicht ganz 14mal so viel, d. i. ungefähr 18 Loth. Folglich wiegen 28 Pariser Kubikzoll Queckfilber etwas über 15 Pfund. Der Druck der Luft auf eine Queckfilbersäule von einem Pariser Quadratzoll Grundfläche beträgt demnach 15 Pariser Pfund.

Ist die Grundfläche der Säule einen Quadratschuh groß, d. i. 144 Quadratzoll, so beträgt die ganze Säule 144mal 28, d. i. 4032 Kubikzoll. Da nun 28 Kubikzoll 15 Pfund wiegen, so wiegen 4032 Kubikzoll 2160 Pfund, ungefähr 20 Centner. Demnach beträgt der Druck der Luft auf eine Queckfilbersäule von einem Quadratschuh Grundfläche ungefähr 20 Centner. Setzt man die Rechnung fort, so findet sich, daß der Druck der Luft auf eine Quadratmeile seyn muß $= 22843^2 \times 20 = 10436052980$ Centner. Hat nun die ganze Oberfläche der Erde 9278960 Quadratmeilen, so beträgt der Druck der Luft auf dieselbe 96835718159300800 Centner, beinahe 97 tausend Billionen Centner.

Die Luft drückt aber, vermöge ihrer Schwere, auf jeden irdischen Körper, und die Größe dieses Druckes läßt sich allemal dadurch berechnen, daß man die Oberfläche des Körpers als Grundfläche einer Queckfilbersäule betrachtet, die für eine Höhe von ungefähr 28 Pariser Zoll dem Druck der Luft das Gleichgewicht hält, was man den Druck einer Atmosphäre nennt. Da man nun die Oberfläche eines ausgewachsenen Menschen zu 15 Pariser Quadratschuh anschlagen kann, so ist der Druck der Luft auf diesen Körper so groß, daß er einer Queckfilbersäule von eben dieser Grundfläche und 28 Zoll Höhe das Gleichgewicht halten kann.

Digitized by Google

Eine solche Säule müßte aber, nach der eben angestellten Berechnung, 15mal 20 Centner, d. i. 300 Centner wiegen. Demnach hat der erwachsene Mensch einen Luftdruck von 300 Centner auszuhalten.

§ 109. (Compensation dieses Druckes.) Obgleich der Toricellische Versuch den Druck der Luft außer allen Zweifel setzt, und die angestellte Berechnung, die auf diesen Versuch sich gründet, durchaus richtig ist, so wird doch Mancher, von der so unerwarteten Größe dieses Druckes überrascht, nicht recht begreifen, wie der menschliche Körper einen so ungeheuern Druck zu ertragen vermöge, noch viel weniger, wie er sich so frei und leicht dabei bewegen könne. Es ist aber dabei zu erwägen: 1) daß alle Theile des Körpers vollkommen gleichförmig gedrückt werden, und daß daher je zwei und zwei einander entgegengesetzte Pressungen sich das Gleichgewicht halten, wodurch der ganze Druck in sich selbst aufgehoben wird, und den Körper nicht belästigen kann. 2) Ist in jedem Körper Luft enthalten, die der äußern entgegen drückt. In den organischen Körpern, besonders in den thierischen und vorzüglich in dem menschlichen Körper, wird dieser Gegendruck von innen nicht nur durch die Elastizität einzelner Körpertheile, sondern auch dadurch bewirkt, daß sie eine Menge tropfbarer und elastischer Flüssigkeiten enthalten. Eben darum können so viele Fische so ungeheuer tief unter dem Meere leben. Diese haben nicht nur den Druck der Luft auf die Meeresfläche, sondern auch noch den einer äußerst hohen Wassersäule zu ertragen. Durch dieses Gleichgewicht, verbunden mit der außerordentlich großen Subtilität der Luft, ist es daher auch möglich, sich, des Druckes ungeachtet, frei und leicht darin bewegen zu können. 3) Da übrigens der menschliche Körper von dem Augenblick seiner Geburt an diesen Druck zu ertragen hat, so hat der gütige Schöpfer dem Körper eine solche Einrichtung gegeben, daß alle dessen Muskeln und Nerven, überhaupt alle Theile desselben, dicht und gespannt genug werden, um diesen Druck ertragen zu können, indem sie ihn erwiedern. Gerade dieser Zustand ist von der ewigen Weisheit als der natürliche des Körpers bestimmt worden, und würde nur erst schmerzhaft werden, wenn es dem Schöpfer gefiele, den Druck wegzunehmen, ohne dem Körper eine andere Einrichtung zu geben. Daher rührt zum Theil die Unbehaglichkeit, die der Mensch auf hohen Bergen empfindet, wo die äußere Luft viel dünner, und daher nicht mehr geeignet ist, dem Druck von innen das Gleichgewicht zu halten. Auf dem Gipfel des Chimborasso drang Herrn von Humboldt und seinen Begleitern das Blut aus Lippen, Augen und Ohren. *)

§ 110. (Barometer.) Nicht nur an verschiedenen Orten, die eine höhere und tiefere Lage haben, sondern auch an einem und demselben Orte ist die Höhe der Queckfilbersäule in der Toricellischen Röhre nicht zu allen Zeiten

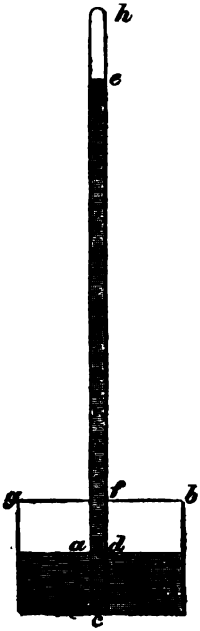
*) Obgleich durch den Toricellischen Versuch es keinem Zweifel unterliegt, daß die Luft schwer ist, und andere Versuche dieses auch von den Gasarten überhaupt, so wie von den tropfbaren Flüssigkeiten sattsam darthun, so ist dieses doch neuerdings bestritten und für grundfalsch erklärt worden. Hierher gehört namentlich die Schrift des Herrn v. Drieberg, in welcher er zu beweisen glaubt, daß beide, weder Wasser noch Luft, einen Druck ausüben. Der Verfasser verspricht dabei Dem, der ihn zu widerlegen vermöge, einen Preis von 1000, in einer spätern Auflage von 2000 Dukaten. Ließe sich aber dieser Beweis nicht schon dadurch führen, daß jeder Körper, der mit einer tropfbaren oder elastischen Flüssigkeit gefüllt ist, mehr als für sich allein wiegt, und gibt es, für die ganze mechanische Physik, ein anderes Princip, als das der Schwere, und die nothwendige Folge derselben, das Gewicht?

Digitized by Google

einerlei; sie ist, nach der Lage des Orts, bald höher, bald niedriger, und auch an demselben Orte verändert sich ihre Höhe oft in sehr kurzer Zeit. Hieraus ist klar, daß der Druck der Luft nicht nur auf der ganzen Erde sich nicht gleich seyn kann, sondern daß er auch an einerlei Ort bald größer, bald kleiner seyn muß, also überhaupt veränderlich ist. Diese Veränderlichkeit kann aber durch die Toricellische Röhre gemessen werden, wenn man sie an ein Brett befestigt, und sie mit einer Zollskale versieht, die das Steigen und Fallen der Säule bemerkbar macht. In dieser Gestalt bekommt die Toricellische Röhre den Namen Barometer (Druckmesser), auch Baroskop (Druckzeiger).

Ein vollkommen gutes Barometer zu verfertigen, ein solches, durch welches auch die allerkleinste Veränderung des Luftdrucks vermittelst der Skale sogleich bemerkbar werde, und auf welches auch weiter gar nichts einwirke, als nur dieser Druck allein, hat unüberwindliche Schwierigkeiten. Nicht nur daß eine zu sehr in's Kleine gezogene Abtheilung der Skale, welche dazu gehört, um jede noch so geringe Veränderung erkennen zu können, nicht mehr wahrnehmbar bleibt, wirkt auf das Queckſilber im Glase, außer einer, wenn auch nur geringen, Capillarattraction, auch noch die Wärme ein, bei deren Zunahme sich die Queckſilbersäule ausdehnt und höher steigt, oder sich zusammenzieht und niedriger wird, wenn die Wärme abnimmt. Es ist also nicht der Luftdruck allein, der doch eigentlich durch das Barometer gemessen werden soll, der auf den Stand der Säule, auf ihr Steigen und Fallen, Einfluß hat. Zu diesen Schwierigkeiten gesellen sich aber auch noch andere, die theils auf die Güte, theils auf den richtigen Gebrauch des Barometers Einfluß haben, und die weiterhin vorkommen werden. Kein Wunder also, daß man seit der Erfindung des Barometers, welche bald, nachdem der Toricellische Versuch bekannt wurde, gemacht worden ist, auf allerlei Einrichtungen verfiel, durch die man das Instrument der Vollkommenheit näher zu bringen suchte. Allerlei Künsteleien, die man damit vornahm, halfen wenig, vielmehr entsprachen die einfachsten Einrichtungen den Erfordernissen eines guten Barometers am mehrsten. Zu diesen gehören:

Fig. 92.




1) Das Gefäßbarometer. Dieses besteht aus einem Gefäße von Holz, das bis zu einer gewissen Höhe, z. B. bis d (Fig. 92), mit Queckſilber gefüllt und an der Toricellischen Röhre cb befestigt ist. Bei f hat das Gefäß eine kleine Oeffnung, um der Luft desto freiern Eingang zu verstatten. Man nennt es auch Phiolen-, Kapsel- oder Flaschen-Barometer, wenn das Gefäß, wie es am häufigsten vorkommt, eine solche Form hat, an die Röhre angeblasen (Fig. 93) und ganz von Glas ist.

Fig. 93.

Digitized by Google

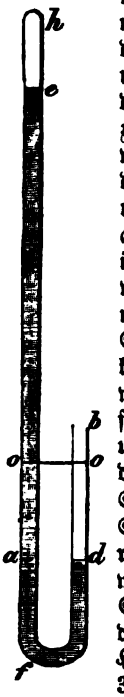
Da sich, vermöge der hydrostatischen Gesetze für communicirende Röhren, die Säulen ac und de (Fig. 92 und 93) das Gleichgewicht halten (§ 93), so wird die jedesmalige Stärke des Luftdrucks durch die Queckfilbersäule gemessen, welche wie ae über der Oberfläche des Queckfilbers im Gefäße emporsteht. Nimmt der Luftdruck zu, so wird die Säule länger; nimmt er ab, so wird sie kürzer. Diese Queckfilbersäule nennt man daher auch die Barometerhöhe oder den Barometerstand. Um sie zu erkennen, und ihre Veränderung jedesmal wahrnehmen zu können, bedient man sich einer Zoll- und Linien-Skale, gewöhnlich nach altfranzösischem Maße. So lange die Oberfläche des Queckfilbers im Gefäße so bleibt, wie sie zur Zeit war, als die Skale gemacht worden ist, behält diese auch in allen ihren Abtheilungen ihre Richtigkeit. Mit jeder Veränderung der Oberfläche leidet aber auch der Anfang der Skale eine Veränderung, und mit ihm alle Abtheilungen derselben. Eben darum sind weder die Gefäß-, noch Phiolenbarometer zu scharfen und genauen Beobachtungen mit völliger Sicherheit zu gebrauchen, indem ihre Skale nur auf eine bestimmte Barometerhöhe paßt. Denn gesetzt, die Skale habe ihren Anfang bei a, sey also zur Zeit, wo die Oberfläche des Queckfilbers im Gefäße bei d und die Barometerhöhe ae war, gemacht worden, so könnte sie nur dann für jede Barometerhöhe gelten, wenn d immer unveränderlich bliebe. Daß dieses nicht der Fall seyn kann, ist leicht einzusehen, weil b sinken muß, wenn die Barometerhöhe zu-, und steigen muß, wenn sie abnimmt. In beiden Fällen ist der Anfangspunkt der Skale anders, als er zur Zeit ihrer Verfertigung gewesen ist; im ersten Falle ist er über a hinauf, im zweiten Falle unter a herab gedrückt. Alle übrigen Abtheilungen der Skale haben sich hierdurch mit verändert, und die Zahl, welche die jetzige Barometerhöhe angeben soll, ist daher nicht mehr passend.

Vermindert, jedoch nicht völlig aufgehoben, wird diese Unzuverlässigkeit der Skale, wenn das Gefäß oder die Phiole beträchtlich weiter als die Röhre ist, weil alsdann eine Veränderung in der Barometerhöhe keine bedeutende Veränderung in der Oberfläche des Queckfilbers im Gefäße oder der Phiole nach sich zieht. Ist der Durchmesser des Gefäßes oder der Phiole zehnmal größer, als der der Röhre, so wird, wenn die Barometerhöhe um einen Zoll sich verändert, dieser Zoll im Gefäße oder der Phiole auf eine hundertmal größere Fläche vertheilt, und daher die Oberfläche des Queckfilbers erst um den hundertsten Theil eines Zolles verändert werden. Der Fehler, die Skale für jeden Barometerstand als unveränderlich anzusehen, ist also hierdurch schon beträchtlich vermindert worden, und wird es um so mehr, je mehr dieses Verhältniß zunimmt. Unter den neuesten Gefäßbarometern ist das Fortin'sche eines der verzüglichsten.

2) Das Heberbarometer. Dieses besteht aus einer einzigen Röhre, die unten umgebogen ist, daher zwei Schenkel hat, die einander gleichlaufend sind (Fig. 94). Der längere Schenkel fh ist bei h zugeschmolzen, der kürzere fb ist, für den freien Eingang der Luft, bei b offen. Sind beide Schenkel gehörig calibrirt, d. h. untersucht worden, ob sie genau von gleicher Weite sind, so findet keine Capillarattraction, so wie auch keine Unzuverlässigkeit der Skale durch Veränderung der Barometerhöhe mehr statt, weil alsdann in beiden Schenkeln die Veränderungen jedesmal völlig gleichförmig sind. Läßt man die Skale bei f anfangen, und trägt sie von da nach h hinauf, so darf man nur die Säule af, die

Digitized by Google

Fig. 94.




mit df im hydrostatischen Gleichgewicht ist, von ek abziehen, dann bleibt ae übrig, welche nun allemal die wahre Barometerhöhe ist. Um die Subtraction zu vermeiden, gibt man dem Heberbarometer zwei Skalen, eine für den langen, und eine andere für den kurzen Schenkel. Die Skale an dem langen Schenkel geht von Null (0) aufwärts nach h zu, die an dem kurzen Schenkel geht von eben diesem 0 abwärts nach f hin. Der Nullpunkt selbst aber ist so gewählt, daß das Queckſilber in dem langen Schenkel nie so weit fällt, und in dem kurzen nie so hoch steigt. Man nehme einmal an, der Druck der Luft sey so gering, daß daß das Queckſilber im kurzen Schenkel wirklich bis an 0 stehe. In diesem Falle würde die Queckſilbersäule, die im langen Schenkel über 0 nach h zu steht, die Barometerhöhe seyn. Steigt nun die Säule im langen Schenkel, so fällt ſie um eben so viel in dem kurzen unter 0 herab, und dann müßte man die Länge, um welche ſie in dem kurzen Schenkel gefallen ist, zu der Queckſilbersäule noch addiren, die im langen Schenkel über 0 steht, um die wahre Barometerhöhe zu haben. Hierzu dienen denn die beiden Skalen. Geſetzt, das Queckſilber steht im langen Schenkel auf 19 Zoll 3 Linien über Null, und im kurzen Schenkel auf 7 Zoll 10 Linien unter Null, so wäre die Barometerhöhe 27 Zoll 1 Linie. Bei dieſer Art Heberbarometer wird demnach die Barometerhöhe durch die Addition beider Skalen gefunden, die Veränderung des Luftdrucks aber dadurch, daß man die Veränderung an einer Skale doppelt nimmt. Hätte z. B. das Queckſilber im langen Schenkel auf 19 Zoll 3 Linien geſtanden, und wäre auf 19 Zoll gefallen, so ist die Stärke des Luftdrucks um eine Queckſilbersäule von 6 Linien oder einem halben Zoll geringer geworden. Zu genauen Verſuchen ist daher das Heberbarometer, deſſen Einrichtung auch noch anderer Art seyn kann, weit brauchbarer als das Gefäß- und Phiolenbarometer.

Wie wichtig aber für genaue Verſuche auch nur eine kleine Veränderung in der Barometerhöhe ist, läßt ſich schon daraus abnehmen, daß eine einzige Linie, um welche die Barometerhöhe ſich verändert, für den Druck der Luft schon $6\frac{1}{2}$ ℔ beträgt, wenn die Grundfläche des Körpers, der den Druck zu ertragen hat, ein Quadratſchuh groß ist. Da nämlich dieſer Druck auf eine ſolche Grundfläche für 28 Zoll oder 336 Linien Höhe 2160 ℔ beträgt, so kann man nach der Regel Detri finden, daß er für jede Linie $6\frac{1}{3}$ ℔ seyn muß. Durch fortgeſetzte Berechnung findet ſich, daß eine jede Linie Aenderung in der Barometerhöhe den Druck der Luft auf den Körper eines ausgewachſenen Menſchen, wenn man deſſen Oberfläche zu 15 Quadratſchuh rechnet, um etwa 97 ℔ verändere. Daraus geht hervor, daß eine Aenderung von 6 Linien beinahe 600 ℔, alſo faſt den fünfzigſten Theil, und eine Aenderung von einem Zoll faſt den fünfundzwanzigſten Theil des Luftdrucks ändere, den der Körper zu tragen hat. Mitunter kann hierin wohl eine Urſache mit liegen, daß ſo viele Perſonen, beſonders ſolche, die kränklicher und zarter Conſtitution ſind, bei ſehr hohem Barometerſtand ſich übler fühlen, als zur Zeit, wo dieſer niedriger steht, während ſolche, die geſund und kräftig ſind, umgekehrt bei niedrigem Barometerſtand öfters eine Abnahme ihrer Lebensthätigkeit ver-

Digitized by Google

spüren. Daher auch die Mattigkeit, die man auf hohen Bergen empfindet, da hier die Luft so viel dünner ist.

§ 111. (Erfordernisse guter Barometer.) Wesentliche Eigenschaften eines guten Barometers sind folgende:

1) Die Toricellische Röhre muß trocken seyn, damit keine Dünste, nicht zu eng, und durchaus von gleicher Weite seyn, damit keine Capillarattractionen auf die Barometerhöhe einwirken.

2) Die Toricellische Leere muß völlig trocken und leer seyn, damit die Queckfilbersäule von oben her keinen Druck erleide.

3) Jedes auch noch so reine Queckfilber enthält immer Lufttheilchen, die ihm adhäriren. Ist das Barometer mit solchem Queckfilber gefüllt, so steigen diese Lufttheilchen nach und nach in die Toricellische Leere hinauf, und stören, durch ihren Gegendruck und durch ihre verschiedenen Ausdehnungen in verschiedenen Wärmegraden, den richtigen Barometerstand. Diesem zu begegnen, füllt man gute Barometer mit Queckfilber, das durch sorgfältiges und mehrmaliges Kochen von den anhaftenden Lufttheilchen befreit worden ist. Uebrigens muß das Queckfilber vollkommen rein von allen sonstigen Beimischungen seyn.

4) Die Skale muß sehr richtig und genau abgetheilt, mit der Queckfilbersäule parallel, und nach einem bestimmten Längenmaße, das mit jedem andern in einem bekanten Verhältniß steht, und verglichen werden kann, verzeichnet seyn. Willkürliche Maßbestimmungen, z. B. eine Abtheilung der Skale nach unbestimmt angenommenen Graden, sind ganz untauglich zu Angaben für Barometerhöhen. Bei den englischen Barometern ist gewöhnlich englisches Längenmaß im Gebrauche, bei uns in der Regel altfranzösisches, in Frankreich auch metrisches Maß. Ein Barometerstand in einem dieser Maße kann mit einem andern, dessen Skale ein anderes Maß hat, nur dann erst übereinstimmen, wenn sie durch Rechnung auf einander reducirt worden sind. Für die drei angegebenen Maßarten kann dieses durch folgende Bestimmungen geschehen:

1 Linie engl. Maß = 0,0021166 Meter, oder 0,938293 franz. Linien.

1 franz. Linie = 0,0022558 Meter, oder 1,0657797 engl. Linien.

1 Meter = 443,295936 franz. Linien, oder 472,455825 engl. Linien.

Beispiele. 1) Was ist der Barometerstand in franz. Linien und Meter, von $28^1/_2$ engl. Zoll?

$28^1/_2$ Zoll = 342 Linien × 0,938293 = 320,9 franz. Linien, oder 26 Zoll 8,9 Linien. Ferner 342 Linien × 0,0021166 = $0^m$,724.

2) Was ist der Barometerstand in Meter und engl. Linien von $28^1/_2$ franz. Zoll?

342 Linien × 0,0022558 = $0^m$,771. Ferner 342 Linien × 1,0657797 = 364,5 engl. Linien, oder 30 Zoll 4,5 Linien.

3) Was ist der Barometerstand in franz. und engl. Linien von $0^m$,76?

0,76 × 443,295936 = 336,9 franz. Linien, oder 28 Zoll 0,9 Linien. Ferner 0,76 × 472,455825 = 359,07 engl. Linien oder 29 Zoll 11,07 Linien.

Die ganze Skale, von Null an durch die ganze Toricellische Röhre bis zu ihrem geschlossenen Ende hinauf zu tragen, ist bei solchen Barometern, die man für den gewöhnlichen Gebrauch hält, schon aus dem Grunde überflüssig, weil das Queckfilber nie bis zu Null sinkt, und nie

Digitized by Google

bis an das geschlossene Ende steigt. Es ist vollkommen hinreichend, wenn die Skale, wie dieses auch für solche Barometer der Fall ist, etwa vom 25sten bis zum 29sten Zoll sich erstreckt, und jeder Zoll genau in Linien getheilt ist. Theile von der Linie muß man nach dem Augenmaß schätzen, es sey denn, daß die Skale, wie dieses bei guten Barometern der Fall ist, einen Nonius hat, mit welchem diese Theile zu messen sind.

§ 112. (Correctionen.) Das Barometer mag aber mit aller nur erdenklichen Genauigkeit verfertigt seyn, so wird doch auch die Zu- und Abnahme der Wärme einen Einfluß auf die Barometerhöhe haben. Gleichen Luftdruck vorausgesetzt, wird die Queckſilberſäule bei warmer Witterung immer etwas höher stehen, als wenn es kalt ist, weil das Queckſilber durch die Wärme etwas ausgedehnt wird. Für sehr genaue Beobachtungen ist dieses allerdings zu beachten, wenn schon es für minder genaue und gewöhnliche nicht sehr von Bedeutung ist. Berühmte Physiker haben diesen Einfluß sorgfältig untersucht, und gefunden, daß eine Queckſilberſäule sich um den 4440sten Theil ihrer Länge ändere, für jeden Grad des 80gradigen, und um den 5550sten Theil für jeden Grad des 100gradigen Thermometers. Will man nun den Barometerstand jedesmal für einen fest bestimmten Wärmegrad angeben, z. B. für den natürlichen Gefrierpunkt, welchen man jetzt allgemein als normal zur Bestimmung der Barometerhöhe annimmt, so muß man den 4440sten oder 5550sten Theil von der ganzen Länge der Queckſilberſäule so vielmal abziehen, so viel Grade das eine oder das andere Thermometer über dem natürlichen Gefrierpunkt steht. Im umgekehrten Falle, wenn das Thermometer unter dem natürlichen Gefrierpunkt steht, muß man, so viel Grade dieses beträgt, so vielmal diesen Theil der ganzen Barometerhöhe noch hinzusetzen. Man nennt dieses die Correction des Queckſilbers wegen der Wärme. Deßwegen befestigt man bei Barometern, die zu genauen Beobachtungen bestimmt sind, noch ein eigenes Thermometer auf demselben Brette, woran die Barometerskale sitzt.

Beispiele. 1) Die Barometerhöhe sey 27½ Zoll, oder 330 Linien, bei einer Wärme von 24 Grad des 80theiligen Thermometers. Man schließe nun $1 : 24 = \frac{330}{4440} : x$, also $x = 1{,}78$ Linien. Diese von 330 abgezogen, gibt 328,22 Linien, oder 27 Zoll 4,22 Linien als eigentliche Barometerhöhe für den natürlichen Gefrierpunkt des Thermometers. Für 24 Grad des 100theiligen Thermometers wäre die Proportion:

$1 : 24 = \frac{330}{5550} : x$, also $x = 1{,}42$ Linien, Rest 328,58 Linien, oder 27 Zoll 4,58 Linien Barometerhöhe für den Gefrierpunkt dieses Thermometers.

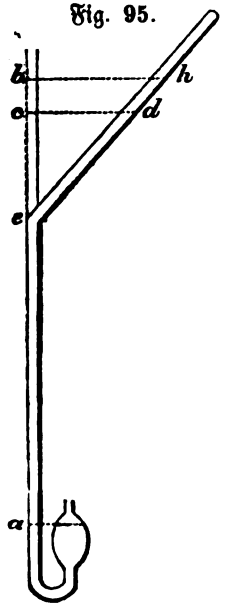
2) Die Barometerhöhe sey 27 Zoll oder 324 Linien, und das Thermometer stehe auf 12 Grad unter dem natürlichen Gefrierpunkt. Rechnet man wie vorhin, so findet sich eine Correction von beinahe 0,9 Linien. Diese zu der Barometerhöhe addirt, gibt 27 Zoll und 0,9 Linien als eigentliche Höhe für den natürlichen Gefrierpunkt des 80theiligen Thermometers.

Auch das vorzüglichste Barometer kann keine wahre Barometerhöhe angeben, wenn es zur Zeit der Beobachtung nicht vollkommen senkrecht steht. Wenn es aufgehängt wird, muß man daher das Senkblei zu Hülfe nehmen. Weil sich das Queckſilber, besonders in ausgekochten Barometern, zuweilen etwas an die Röhre anhängt, so ist es der Genauigkeit auch

Digitized by Google

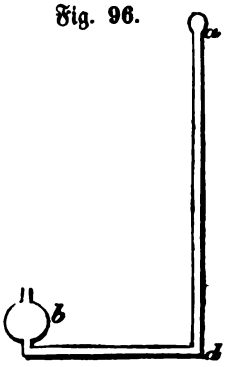
zuträglich, durch gelindes Anſchlagen dieſe Anhaftung zu löſen. Auch muß das Auge bei Beobachtung des Barometerſtandes mit dem höchſten Punkt der Queckſilberſäule ſo viel als möglich genau horizontal, nur nach dieſem höchſten Punkt, alſo nach der Mitte, und nicht nach dem Rande des Queckſilbers gerichtet ſeyn.

Fig. 95.



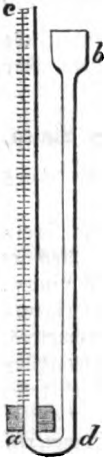

§ 113. (Einige ältere Barometerarten.) 1) Das Barometer von Morland (Fig. 95). Dieſes Barometer iſt bei e unter einem ſchiefen Winkel umgebogen. Würde das Queckſilber in der geraden Röhre bis c ſtehen, ſo ſteht es hier in d, und ſteigt hier bis h, wenn es dort bis b ſtiege. Da es nun hier in einem größeren Raum ſteigt und fällt, als er in der geraden Röhre iſt, ſo können die Unterabtheilungen des Zolls ſichtbarer gemacht werden.

Fig. 96.




2) Das Barometer von Bernoulli (Fig. 96). Dieſes beſteht aus 2 Schenkeln, einem horizontalen und einem vertikalen, die bei d einen rechten Winkel bilden, ebenfalls dazu beſtimmt, kleine Veränderungen der Skale durch den obern Cylinder a beſſer ſichtbar zu machen, und den Nullpunkt der Skale feſt zu erhalten. Das Gefäß b dient dazu, daß bei ſehr niedrigem Barometerſtand kein Queckſilber aus der Röhre ausfließen kann.

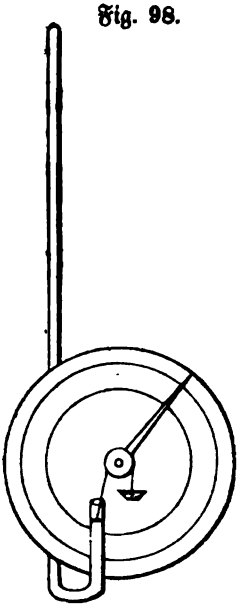
Fig. 97.




3) Das Doppelbarometer von Huygens (Fig. 97). Dieſes beſteht aus zwei Röhren ca und bd, die mit einander Gemeinſchaft haben. Die Röhre ca, die ſehr eng iſt, iſt bei c offen und mit gefärbtem Weingeiſt gefüllt, der in a, wo ein weites Gefäß iſt, das Queckſilber berührt, das in der Röhre bd ſteht. Dieſe Röhre hat bei b ebenfalls ein weites Gefäß, und da dieſes geſchloſſen iſt, ſo wird durch den veränderlichen Druck der Luft auf c das Queckſilber im Gefäße bald ſteigen, bald fallen. Steigen wird es, wenn der Weingeiſt fällt, und fallen, wenn dieſer ſteigt. Da die Röhre ca ſehr enge iſt, ſo muß der Stand des Weingeiſtes ſich ſchon beträchtlich verändern, wenn der Stand des Queckſilbers nur eine kleine Veränderung erleidet, und eben dadurch kann das Steigen und Fallen beſſer ſichtbar werden. Daher befindet ſich die Skale an der Röhre ca, wo denn das Fallen des Weingeiſtes eine Zunahme, deſſen Steigen eine Abnahme des Luftdrucks angibt. Da hier die Luft nicht unmittelbar auf das Queckſilber drückt, der Weingeiſt zu viel verdunſtet, und überhaupt von Wärme und Kälte noch mehr als das Queckſilber zu leiden hat, auch der Capillarattraction mehr unterworfen iſt, ſo leidet dieſes Barometer an Mängeln, die es ganz unbrauchbar machen.

Digitized by Google

Fig. 98.



4) Das Radbarometer von Hook (Fig. 98). Dieses ist ein Heberbarometer. Auf dem Queckſilber im kurzen Schenkel ruht ein kleines Gewichtchen, das an einem Faden hängt. Dieſer iſt um ein leicht bewegliches Röllchen geſchlagen, und trägt an ſeinem andern Ende ein nur ſehr wenig leichteres Gegengewichtchen. So wie der Stand des Queckſilbers im Barometer eine Veränderung erleidet, muß das Gewichtchen, das auf dem Queckſilber liegt, in die Höhe gehen, wenn das Barometer fällt, und tiefer ſinken, wenn es ſteigt, und ſo allemal das Röllchen in Bewegung ſetzen. Die Achſe des Röllchens trägt einen Zeiger, der auf einer großen Scheibe ſich bewegt, auf welcher ſich die Zolle und Linien, ja ſogar Theile der Linie, ſichtbarer darſtellen laſſen.

5) Das Reiſebarometer. Es iſt in der Regel ein Heberbarometer, das ſich bequem und ſicher mit auf Reiſen nehmen, und in der Hand tragen läßt. Da ſich im Tragen die Luft leicht über das Queckſilber, hinauf drängen würde, ſo ſind die Reiſebarometer ſo eingerichtet, daß man das Queckſilber, nachdem man es bis an das Ende des langen Schenkels hat treten laſſen, ſo lange geſperrt halten kann, bis man an dem Ort der Beobachtung angekommen iſt. Jetzt macht man auch tragbare Gefäßbarometer.

§ 114. (Regelmäßige Oscillationen des Barometers.) Außer und zugleich mit den unregelmäßigen Veränderungen des Barometers, die jedoch auf hohen Bergen nicht ſo häufig ſind, als in tiefer liegenden Gegenden, ſteigt und fällt der Barometerſtand jeden Tag auch regelmäßig zu beſtimmten Stunden. Unter dem Aequator, wo überhaupt die Barometerſtände weit weniger ſchwanken, als dieſes in höhern Breitengraden der Fall iſt, zeigen ſich zwar dieſe regelmäßigen täglichen Oscillationen am deutlichſten, indeß ſind ſie auch in dieſen wahrgenommen worden, zur Zeit, wo gerade die oft häufig vorkommenden regelloſen Veränderungen ſeltener waren, und die Beobachtungen mit ſehr vorzüglichen Inſtrumenten angeſtellt worden ſind. Dergleichen Beobachtungen gemäß tritt täglich der größte Barometerſtand um oder bald nach 9 Uhr Morgens ein, von wo an er regelmäßig bis um 4 Uhr Abends abnimmt, von da an, wo er am kleinſten iſt, wieder zu ſteigen anfängt, bis um 11 Uhr Abends, und dann wieder fällt, bis um 4 Uhr Morgens, wo er ſeinen niedrigſten Stand erreicht.

Dieſer merkwürdige periodiſche Wechſel, der in den Tropenländern faſt als Uhr dienen kann, leitet auf den muthmaßlichen Schluß hin, daß die Atmoſphäre eine Ebbe und Fluth haben müſſe, wie wir eine ſolche im Meere kennen. Der jedesmalige höchſte Barometerſtand iſt die Zeit der Fluth, der niedrigſte die der Ebbe. Eben die Urſachen, namentlich der mächtige Einfluß der Sonne und des Mondes, welche bei der Ebbe und Fluth des Meeres ſich wirkſam zeigen, müſſen auch dieſelbe Erſcheinung in dem die Erde umgebenden Luftmeer bewirken, und zwar, wegen deſſen großer Beweglichkeit, in noch verſtärktem Grade. Dieſe Ebbe und Fluth, ſo beträchtlich ſie auch an der äußerſten Gränze der Atmoſphäre ſeyn mag, iſt jedoch

Digitized by Google

für uns nur wenig fühlbar, und vornehmlich nur in den angegebenen regelmäßigen Oscillationen des Barometers einigermaßen zu bemerken. Dieses rührt aber wohl nur daher, daß wir den Grund des Luftmeers bewohnen, ähnlich dem Ocean, in dessen Tiefe man wohl auch nur wenig oder nichts von der Ebbe und Fluth empfinden mag, die täglich an dessen Oberfläche vorgeht.

§ 115. (Mittler Barometerstand.) Hat man das Barometer an einem gewissen Ort den Tag über, wo mögl ich von Stunde zu Stunde, mehrere Tage lang sorgfältig beobachtet und dessen Stand jedesmal notirt, so erhält man den täglichen mittlern Barometerstand, wenn man die 24 Beobachtungen eines Tages addirt, und die Summe durch 24 dividirt. Dergleichen Beobachtungen sind freilich sehr mühsam, daher man sich öfters mit wenigen begnügt, deren Summe dann mit der Anzahl aller Beobachtungen dividirt wird, um den täglich mittlern Stand zu finden. Hat man bloß den höchsten und niedrigsten Stand allein aufgenommen, so ist die halbe Summe derselben der verlangte mittlere Stand. Wäre z. B. der höchste Stand 336,35 Linien, und der niedrigste 334,54 Linien, so ist 670,89 : 2 = 335,45 Linien der mittlere Barometerstand an diesem Tage. Indessen hat man sich die Mühe nicht verdrießen lassen, das Barometer stündlich zu beobachten, was u. A. Horner und v. Langsdorf auf offener See und in dem tropischen Klima 61 Tage lang mit großer Genauigkeit ausgeführt haben. Unter dem Aequator im Niveau des Meeres fand man die stündlichen Veränderungen des Barometers, wie folgt:

| | | | |
|---|---|---|---|
| um 12 Uhr Mittags | 338,02 Linien | | |
| 1 | 337,79 | | |
| 2 | 337,58 | | |
| 3 | 337,45 | | |
| 4 | 337,40 | niedrigster | Stand |
| 5 | 337,41 | | |
| 6 | 337,45 | | |
| 7 | 337,53 | | |
| 8 | 337,69 | | |
| 9 | 337,83 | | |
| 10 | 337,88 | | |
| 11 | 337,91 | höchster | „ |
| 12 Uhr Mitternacht | 337,88 | | |
| 1 „ Morgens | 337,80 | | |
| 2 | 337,69 | | |
| 3 | 337,62 | | |
| 4 | 337,60 | niedrigster | „ |
| 5 | 337,68 | | |
| 6 | 337,79 | | |
| 7 | 337,94 | | |
| 8 | 338,16 | | |
| 9 | 338,30 | höchster | „ |
| 10 | 338,28 | | |
| 11 | 338,21 | | |
| | 8106,89 : 24 = 337,75 Linien | | |

mittler Barometerstand.

Digitized by Google

Addirt man am Ende eines Monats die mittlern Barometerhöhen aller Tage, und dividirt ihre Summe durch die Anzahl der Monatstage, so erhält man die mittlere Barometerhöhe für diesen Monat. Am Ende des Jahres addirt man dann alle mittlere monatliche Barometerhöhen, dividirt ihre Summe durch 12, und erhält alsdann die mittlere Barometerhöhe für das ganze Jahr. Viele Erfahrungen haben dargethan, daß die jährliche mittlere Barometerhöhe an einem und demselben Ort von ziemlicher Beständigkeit ist, so daß sie am Ende eines jeden Jahres für diesen Ort fast immer gleich herauskommt.

§ 116. (Wetterglas.) Obgleich die wechselnde Zu- und Abnahme der Barometerhöhe an einerlei Ort eine Folge der Veränderlichkeit des Luftdrucks ist, so ist jedoch die Ursache, wodurch diese Veränderlichkeit selbst herbeigeführt wird, noch gar nicht ergründet. Zwar kennt man, durch die Bemühungen vieler gründlicher und ausgezeichneter Naturforscher, im Allgemeinen wohl eine Menge von Ursachen, die den Luftdruck verstärken und schwächen können, allein welche von ihnen in jedem einzelnen Fall vorzüglich oder ausschließend wirksam war, kann nicht mehr ausgemittelt werden, zumal es höchst wahrscheinlich ist, daß bei jeder Veränderung in der Atmosphäre mehrere Ursachen, bald zugleich, bald abwechselnd, bald mit gleichem, bald verschiedenem Erfolg, sich wirksam zeigen, die für den einzelnen Fall nicht mehr beurtheilt werden können. Von großem Einfluß auf den Luftdruck mag wohl der Zug und die Stärke der Winde, so wie der größere und geringere Grad der Wärme seyn, weil dadurch die Dichtigkeit und Elastizität der Luft erhöht und vermindert werden kann. In der That steht auch in unsern Gegenden das Barometer bei heiterem Frostwetter fast allemal höher, als es bei demselben Winde steht, wenn heiteres und warmes Wetter ist, weil die Dichtigkeit und Elastizität der Luft, die nicht eingesperrt ist, durch die Wärme vermindert werden. Indessen trifft auch dieses nicht immer zu, und häufig genug ist der Barometerstand in heißen Sommertagen höher, als er an heitern Wintertagen gewesen ist. Daß die in der Luft schwebenden Dünste, namentlich Wasserdünste, den Luftdruck verstärken, so lange sie innig mit der Luft verbunden sind, dagegen verringern, wenn sie aus ihr scheiden, wobei denn allerdings Barometerveränderungen eintreten können, mag als gewiß angesehen werden, allein eben so gewiß ist es auch, daß den Veränderungen in der Atmosphäre noch andere Ursachen zu Grunde liegen. Bedenkt man, von welcher Wirkung die Elektrizität, das Verhältniß der chemischen Mischungen der einzelnen in der Atmosphäre enthaltenen Bestandtheile auf den Druck der Luft seyn muß, so wird man sich leicht überzeugen, daß bei so vielen Ursachen, zu denen gewiß noch manche gehören, die wir nicht einmal kennen, die Ursache von der Veränderung des Luftdrucks für jede einzelne Barometerveränderung nicht mehr angegeben werden kann. Die Regel, daß ein hoher Barometerstand schönes, ein niedriger aber schlechtes Wetter andeute, weßwegen man dem Barometer den Namen Wetterglas beigelegt hat, trifft, besonders auf dem festen Lande und in ebenen Gegenden, daher nur unter sehr vielen Ausnahmen zu, und kann darum durchaus nicht für zuverlässig gelten. Nur wenn das Barometer anhaltend und langsam steigt, läßt sich einigermaßen auf heiteres, so wie im Gegentheil, wenn es anhaltend und langsam fällt, auf regnerisches Wetter schließen. Ein Barometer aber, welches als bloßes Wetterglas nur einen Wetterzettel und keine Zollskale hat, ist von gar

Digitized by Google

keinem zweckmäßigen Gebrauche. Merkwürdig ist der außerordentlich niedrige Barometerstand in dem gelinden und feuchten December 1821, besonders gegen Ende dieses Monats, und den man fast durch ganz Europa bemerkte. Hier, in Frankfurt, stand er auf dem ersten Christtag unter 26½ Zoll. In Mainz verspürte man an diesem Tage ein leichtes Erdbeben. Einige Tage früher hatte man in manchen Gegenden Norddeutschlands ähnliche Naturerscheinungen, wie auch im Neapolitanischen.

Nicht minder auffallend sind auch die heftigen barometrischen Schwankungen, die anfangs Februar 1823 in Deutschland, Italien, Frankreich und England beobachtet wurden, so wie der in eben diesen Ländern beobachtete sehr niedrige Barometerstand gegen Ende Januar 1824. Dergleichen Erscheinungen, die zugleich so weit sich erstrecken, gehören aber allemal zu den ungewöhnlichen. Regelmäßige Barometer- und Witterungsbeobachtungen werden seit mehreren Jahren auch von dem hiesigen physikalischen Verein angestellt und veröffentlicht.

Die häufigsten Barometerveränderungen treten in der Aequinoctialperiode ein, in welcher Zeit dann auch das Barometer am unzuverlässigsten als Wetterglas ist. Von einiger Vorbedeutung auf die Witterung sind aber die Barometerveränderungen, unter gewissen Umständen, dennoch. So deuten starke und schnelle Veränderungen auf heftige Winde, die, wenn sie aus Süden, Südwest und West kommen, in der Regel auch Regen bringen. Steht bei einem weichen Winde das Barometer niedrig, und fängt es, während dieser umspringt, zu steigen an, so tritt auch gewöhnlich eine Veränderung in der Witterung ein, und eben so auch in dem umgekehrten Falle. Ein sehr hoher und unveränderlicher Stand zeigt im Sommer auf heißes und heiteres Wetter, im Winter auf strenge Kälte.

Weit sicherer als auf dem Lande sind aber die Wetteranzeigen des Barometers auf dem freien Ocean, weil hier viele Gegenwirkungen wegfallen, die auf dem Lande stattfinden. Daher auch das Barometer für den Seefahrer ein besonders nützliches und unentbehrliches Werkzeug ist. Weil aber das Barometer in seiner gewöhnlichen Gestalt auf Schiffen, wegen der starken Schwankungen derselben, unbrauchbar ist, so hat man, um diesem Hindernisse abzuhelfen, eigne *Meerbarometer* erfunden, die zwar dem Wesen nach von den andern Barometern nicht verschieden, doch anders construirt sind.

**§ 117.** (Manometer.) Die hydrostatischen Gesetze, durch welche das Gleichgewicht der tropfbaren Flüssigkeiten bestimmt wird, lassen sich auch auf die atmosphärische Luft und überhaupt auf alle luftförmige Körper anwenden, da diese ebenfalls flüssig und schwer sind. So wie nun bei einer tropfbaren Flüssigkeit, die in Ruhe ist, jede horizontale Schichte überall einen gleichen Druck auszuhalten hat (§ 93), so muß auch eine Luftmasse, die in Ruhe ist, in jeder horizontalen Schichte überallhin einen gleichen Druck auszuhalten haben. Daß dieses Gesetz auf die freie Atmosphäre nicht unbedingt angewandt werden kann, ist zwar richtig, allein der Grund davon liegt eben darin, daß diese nie in Ruhe, im Gegentheil stets in Bewegung ist. Indeß muß man die Folge dieses Gesetzes, daß der Druck der Luft von oben nach unten zunehmen muß, weil, wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten, die untern Schichten den Druck der obern Schichten zu tragen haben, gewiß für richtig halten, obgleich, wegen der Expansibilität, die Zunahme des lothrechten Luftdrucks andere Bestimmungen erfordert, als dieses bei den tropfbaren Körpern der Fall ist. Auch darin

Digitized by Google

müssen die Gesetze über das Gleichgewicht der luftförmigen Körper mit denen über das Gleichgewicht der tropfbaren Körper übereinstimmen, daß jeder Körper in der Luft von seinem Gewichte so viel verliert, als die Luftmasse wiegt, die er aus ihrer Stelle verdrängt (§ 97). Im luftleeren Raume muß daher ein Körper ein größeres Gewicht, als in freier Luft haben. Könnte man eine Wage so aufhängen, daß die eine Schale, welche den abzuwägenden Gegenstand enthält, in einem luftleeren, die andere, in der das Gewicht liegt, in freier Luft sich befände, so würde man diese Behauptung, die im Grunde nicht bezweifelt werden kann, augenscheinlich machen können. Befinden sich aber beide, der abzuwägende Gegenstand und sein Gegengewicht in derselben Luftumgebung, so kann freilich in dem Fall, wo sie aus einerlei Materie bestehen, der Gewichtsverlust, den sie in der Luft erleiden, nicht bemerkbar werden, weil sie beide gleich viel verlieren, daher immer im Gleichgewicht bleiben. Ist hingegen der abzuwägende Gegenstand mit seinem Gegengewicht von verschiedener Materie, so kann sein wahres Gewicht durch das Abwägen in freier Luft im Grunde nicht bestimmt werden. Denn, besteht der abzuwägende Körper aus einer Materie, die specifisch leichter, als die Materie des Gegengewichts ist, so muß er, um mit diesem im Gleichgewicht zu seyn, ein größeres Volumen haben. In diesem Falle ist er aber auch von einem größeren Volumen Luft umgeben, und müßte daher für sich allein weniger wiegen, als sein Gegengewicht angibt, weil dieses von einem kleinern Volumen Luft umgeben ist. Besteht aber der abzuwägende Gegenstand aus einer Materie, die specifisch schwerer, als die Materie des Gegengewichts ist, so muß er, um mit diesem im Gleichgewicht zu seyn, ein kleineres Volumen haben, und wird nun für sich allein mehr wiegen, als sein Gegengewicht angibt, da jetzt das größere Volumen Luft um dieses sich befindet. So klein auch dieser Fehler, wegen der außerordentlichen Leichtigkeit der Luft, selbst für die allergenauesten Abwägungen ist, so hat doch diese Betrachtung die Erfindung eines Instruments veranlaßt, durch welches man die Zu- und Abnahme der Dichtigkeit der Luft zu messen im Stande ist. Der Dichtigkeitsmesser, auch das Manometer oder Dasymeter genannt, wurde zuerst von dem berühmten Otto von Guericke, Bürgermeister von Magdeburg, im Jahr 1661 angegeben. Dieses Instrument besteht aus einem Wagebalken einer sehr empfindlichen Wage. An das eine Ende hängt man eine große hohle, wo möglich luftleere, Kugel, an das andere Ende ein sehr kleines Gewichtchen von Blei, welches der Kugel das Gleichgewicht hält. Da das kleine Gewichtchen nur ein sehr kleines Volumen Luft verdrängt, so kann man, ohne merklichen Fehler, annehmen, daß die verdrängte Luft stets ein gleiches Gewicht behalte. Die hohle Kugel aber, die ein weit größeres Volumen Luft verdrängen muß, wird immer desto mehr von ihrem Gewicht verlieren müssen, je mehr die Luft an Dichtigkeit zunimmt. Ist nun die Kugel mit dem Gewichtchen für eine gewisse Dichtigkeit der Luft im Gleichgewicht, so wird dieses Gleichgewicht aufgehoben, wenn die Dichtigkeit eine Veränderung erleidet; die Kugel muß steigen, wenn die Luft dichter, sinken, wenn sie lockerer wird. Wie viel dieses beträgt, kann dann durch aufgelegte Gewichtchen gefunden werden. Wäre z. B. das Manometer für 700 Gran im Gleichgewicht, und man müßte einmal 10 Gran zulegen, um das Gleichgewicht wieder herzustellen, so verhielte sich die jetzige Dichtigkeit der Luft zu der anfänglichen, wie 710 : 700, d. i. wie 1 zu $^{70}/_{71}$; die Luft



Digitized by Google

wäre also um $^1/_{71}$ dichter geworden. Um das Auflegen der Gewichtchen zu ersparen, läßt man die Zunge über einen in Grade eingetheilten Bogen spielen, indem man bei Verfertigung des Manometers an dem Bogen die Stellen bemerkt, wohin die Zunge rückt, wenn die Kugel an Gewicht einen oder zwei, oder drei Gran u. s. w. zu- oder abgenommen hat. Versuche mit dem Manometer haben gezeigt, daß bei großer Hitze die Luft ungefähr zwanzigmal dünner, und bei großer Kälte um eben so vielmal dichter wird, als sie bei mäßig warmem Wetter ist.

Von selbst folgt nun auch der Satz, daß ein jeder Körper, der specifisch leichter als Luft ist, in der Luft eben so aufsteigen muß, wie ein Körper, der specifisch leichter als Wasser ist, auf dem Wasser schwimmt. Der Erfindung des Luftballs und der Luftschiffkunst (Aëronautik) liegt dieser Satz zu Grunde.

§ 118. (Mariottisches Gesetz.) So viel aber auch die Gesetze über das Gleichgewicht der Luft, das man die Aërostatik nennt, mit den Gesetzen der Hydrostatik gemein haben, in so fern von der Schwere die Rede ist, so sind sie doch in Beziehung auf Expansibilität gänzlich von einander verschieden, eben darum, weil die tropfbaren Flüssigkeiten fast keine Ausdehnsamkeit haben, die luftförmigen hingegen die Ausdehnsamkeit als eigenthümlichen Charakter behaupten. Richtige Erklärungen aërostatischer Phänomene setzen also voraus, daß man die Gesetze kennt, nach welchen die Expansivkraft wirkt.

Obgleich auch den ältern Physikern nicht unbekannt war, daß die Luft Expansibilität besitze, so sind doch die Kenntnisse ihrer Gesetze erst seit Anfang des achtzehnten Jahrhunderts bekannt geworden. Mariotte in Paris entdeckte sie; etwas früher hatte sie auch schon Boyle in London, nur auf anderem Wege, entdeckt. Die Grundlage dieser Gesetze stützt sich auf das Wesen der Ausdehnsamkeit selbst, welches bekanntlich darin besteht, daß alle luftförmige Körper ein stetes Bestreben haben, einen immer größern Raum einzunehmen, und deßhalb nur dann in einem bestimmten Raume erhalten werden können, wenn dieser Raum von allen Seiten her so gesperrt ist, daß sie nicht daraus zu entweichen vermögen. Sey es nun, daß die Sperrung durch Wände, welche die eingesperrte Luftmasse von allen Seiten umgeben, oder durch den Gegendruck einer andern Luftmasse bewirkt wird, so wird doch die eingesperrte Luftmasse allemal, vermöge ihrer Expansivkraft, auf die Sperrung nach allen Seiten hin einen Druck ausüben. Nur dann, wenn der Gegendruck der Sperrung dem Drucke der Expansivkraft gleich ist, wird die eingesperrte Luftmasse in dem Raume erhalten werden, in dem sie sich befindet. Man kann daher das Gesetz: daß die Expansivkraft jedesmal dem Gegendrucke gleich seyn müsse, wenn die Luft in einem bestimmten Raum beharren soll, als das Fundament der Aërostatik betrachten.

Hieraus folgt von selbst, daß bei Vergrößerung des Gegendrucks die Luft in einen kleinern Raum zusammengepreßt werden muß, so wie sie hingegen in einen größern Raum sich ausdehnt, so wie dieser Gegendruck sich vermindert. Wird aber eine Masse Luft in einen kleinern Raum eingepreßt, so wird dadurch nothwendig ihr Volumen verkleinert, dagegen ihre Dichtigkeit vergrößert, so wie im umgekehrten Falle, wenn sie sich in einen größern Raum ausdehnt, ihr Volumen zu- und ihre Dichtigkeit abnehmen muß. In welchem Verhältniß aber diese wechselweise Zu- und Abnahme von Volumen und Dichtigkeit zu dem Gegendruck, der sie her-

Digitized by Google

vorbringt, stehe, mußte erst, sowohl über die Verdichtung als Verdünnung der Luft, durch Versuche ausgemittelt werden.

I. Der Mariottische Versuch über die Verdichtung der Luft.

Hierzu ist eine Glasröhre erforderlich, die wie ein Heberbarometer gekrümmt, von diesem jedoch darin unterschieden ist, daß ihr langer Schenkel oben offen, dagegen das Ende des kurzen Schenkels geschlossen ist (Fig. 99). Die Röhre darf nicht zu eng, und muß stark genug seyn, den bedeutenden Druck, der bei dem Versuche in ihrem Innern entsteht, aushalten zu können. Beide Schenkel müssen, besonders aber der kurze, durchaus von gleichförmiger Weite und einander gleichlaufend seyn. Der lange Schenkel kann 94 Pariser Zoll und noch länger seyn; die Skale beginnt von Null und geht zum offenen Ende hinauf. Der kurze Schenkel kann 12 Pariser Zoll lang, oder überhaupt nur in eine Anzahl gleicher Theile getheilt seyn; die Skale fängt bei demselben Nullpunkt an, und geht bis an das geschlossene Ende fort. Beide Nullpunkte liegen demnach in der Krümmung der Röhre und in derselben Horizontallinie. Wenn man den Versuch macht, so gießt man vorerst so viel Queckfilber in den langen Schenkel, daß nur die Krümmung ausgefüllt, wodurch die Luft in dem kurzen Schenkel gesperrt, und von der äußern Luft abgeschnitten wird. Steht das Barometer zur Zeit des Versuchs 28 Pariser Zoll hoch, so hat jetzt die im kurzen Schenkel eingesperrte Luft von der äußern Luft einen Druck auszuhalten, der einer 28 Zoll hohen Queckfilbersäule das Gleichgewicht hält. Gießt man nun noch mehr Queckfilber in den langen Schenkel, so müßte es, wenn der kurze Schenkel luftleer oder oben offen wäre, in beiden Schenkeln, vermöge der Gesetze der communicirenden Röhren, gleich hoch stehen (§ 93.), durch die Luftsäule aber, die im kurzen Schenkel eingesperrt ist, wird es daran verhindert, und muß daher, wenn es darin aufsteigt, diese Luftsäule zusammendrücken, die dann dichter wird. Ist das Queckfilber bis an 6 gestiegen, so füllt die Luftsäule, die erst von 0 bis 12 stand, jetzt nur noch den Raum von 6 bis 12, also einen halb so großen Raum aus, muß aber darum auch ihre Dichtigkeit verdoppelt haben. Um diese Verdopplung zu bewirken, muß man aber in den langen Schenkel so viel Queckfilber eingießen, daß es bis 34 steht. Da die Queckfilbersäule von 0 bis 6 in dem kurzen Schenkel der von 0 bis a in dem langen Schenkel hydrostatisch das Gleichgewicht hält, so wird diese Verdoppelung durch eine Queckfilbersäule bewirkt, die im langen Schenkel um 28 Pariser Zoll höher, als in dem kurzen ist. Nebst dem Druck der äußern Luft, hat nun die eingesperrte Luftsäule abermals einen Druck auszuhalten, der einer 28 Zoll hohen Queckfilbersäule gleich ist, d. h. einen Druck von zwei Atmosphären. Die Verdoppelung ihrer Dichtigkeit erforderte also auch eine Verdoppelung der drückenden Kraft. Setzt man den Versuch fort, bis die Queckfilbersäule an 8 steht, so füllt die eingesperrte Luftsäule nur noch den Raum von 8 bis 12, also nur noch ein Drittel ihres anfänglichen Raumes aus, und hat nun auch ihre Dichtig-

Fig. 99.

Digitized by Google

keit verdreifacht. Dieses geschieht aber erst, wenn in dem langen Schenkel die Queckſilberſäule bis 62 ſteht. Da jetzt die Säule von 0 bis z mit der von 0 bis 8 im hydroſtatiſchen Gleichgewicht iſt, ſo wird die Verdreifachung der Dichtigkeit durch einen neuen Zuſatz von einer 28 Zoll hohen Queckſilberſäule bewirkt, die drückende Kraft hat ſich alſo ebenfalls verdreifacht, und beſteht jetzt aus dem Druck der äußern Luft, aus der vorigen und aus der neu hinzugekommenen Queckſilberſäule. Soll das Queckſilber im kurzen Schenkel bis 9 ſteigen, mithin die eingeſperrte Luftſäule auf ein Viertel ihres anfänglichen Raumes beſchränkt, und viermal dichter werden, ſo muß in dem langen Schenkel das Queckſilber bis 93 zu ſtehen kommen. Von 0 bis 9 und von 0 bis b iſt es im hydroſtatiſchen Gleichgewicht, und die Vervierfachung der Dichtigkeit iſt alſo wiederum eine Folge einer neuen Queckſilberſäule von 28 Zoll Höhe. Die drückende Kraft iſt demnach ebenfalls viermal größer geworden.

Aus dieſem Verſuche geht hervor, daß die Dichtigkeit der Luft in demſelben Verhältniß zunimmt, wie die drückende Kraft, die Räume aber, die ſie bei zunehmender Dichtigkeit ausfüllt, in demſelben Verhältniß abnehmen.

## II. Der Mariottiſche Verſuch über die Verdünnung der Luft.

Vielleicht denkt hier mancher Leſer, daß dieſer Verſuch gar nicht einmal nöthig ſey, indem man aus dem Verſuch über die Verdichtung einen Schluß auf das Geſetz der Verdünnung machen könne, und daß mithin auch bei dieſer die Dichtigkeit in gleichem Verhältniß zu der drückenden Kraft abnehmen, die Räume aber in demſelben Verhältniß wachſen müſſen. Weiß man aber, wie oft die Phänomene den Theorieen und Vernunftſchlüſſen, auch wenn ſie noch ſo richtig zu ſeyn ſcheinen, widerſprechen, daß alſo ächte Naturforſchung durch Erfahrung geleitet werden muß, ſo wird man bald einſehen, daß der umgekehrte Schluß, von dem hier die Rede iſt, bei aller anſcheinenden Richtigkeit, dennoch falſch ſeyn könne, indem es möglich ſey, daß das Phänomen der Verdünnung der Luft andere Geſetze, als das der Verdichtung befolge. Verſuche nur können zur Entſcheidung führen.

Fig. 100.

Zu dem gegenwärtigen Verſuch kann man ſich einer ganz geraden Glasröhre bedienen, die etwa 30 Zoll lang und an beiden Enden mit Hahnen verſehen iſt (Fig. 100). Man ſchließt den untern Hahn, und läßt durch den obern ſo viel Queckſilber in die Röhre laufen, bis es eine Höhe von 27¼ Zoll hat, mithin noch 2¼ Zoll Luft darüber ſteht. Der obere Hahn wird dann geſchloſſen, und dadurch die über dem Queckſilber ſtehende Luftſäule von der äußern Luft abgeſchnitten. Nun ſetzt man den untern Hahn bis an Null in ein Gefäß mit Queckſilber, und öffnet ihn. Neue Luft kann in die Röhre, die oben und unten geſperrt iſt, nicht eindringen, aber bei der Oeffnung des untern Hahns fällt das Queckſilber. Nach einigem Hin- und Herſchwanken bleibt es auf 21 Zoll ſtehen. Die darüberſtehende Luft füllt nunmehr 9 Zoll, mithin viermal ſo viel Raum, als anfänglich, aus, und iſt demnach viermal dünner geworden. War die Barometerhöhe zur Zeit des Verſuchs 28 Zoll, ſo hatte vor Sperrung des obern Hahns die Luftſäule über dem Queckſilber

Digitized by Google

einen Druck auszuhalten, der einer Queckſilberſäule von 28 Zoll Höhe das Gleichgewicht hielt. In dem jetzigen Zuſtand wird von der äußern Luft die 21 Zoll hohe Queckſilberſäule getragen, mithin hat die geſperrte Luftſäule noch einen Druck auszuhalten, der einer Queckſilberſäule von 7 Zoll das Gleichgewicht hält, und wird ſo von einer viermal geringern Kraft zuſammengedrückt. Die Dichtigkeit hat daher in gleichem Verhältniß mit der drückenden Kraft abgenommen, und der Raum, den die Luft bei abnehmender Dichtigkeit erfüllte, hat eben in dem Verhältniß zugenommen.

Aus dieſen Verſuchen geht dann hervor, daß die Dichtigkeit der Luft in geradem, ihr Volumen aber in umgekehrtem Verhältniß zu der drückenden Kraft ſtehe. Dieſes wichtige und folgereiche aëroſtatiſche Geſetz iſt es, das man das Mariottiſche Geſetz nennt. Zwar wurde dieſes Geſetz anfänglich von einigen Phyſikern, deren Beobachtungen nicht damit übereinſtimmen wollten, beſtritten und in Zweifel gezogen, allein in der Folge haben wiederholte, mit großer Genauigkeit angeſtellte Verſuche dargethan, daß das Mariottiſche Geſetz überall, auf Bergen wie in Thälern, auf dem feſten Lande, auf Inſeln, auf dem Meere, an trockenen und an feuchten Orten, ſowohl für die öſtliche als weſtliche Halbkugel der Erde ohne Ausnahme zutrifft.

Außerdem aber, daß die Skalen, deren man ſich bei den Verſuchen bedient, ſo wie das Barometer, ſehr genau ſeyn müſſen, iſt auch noch darauf zu achten, daß während dem ganzen Verſuche einerlei Wärme herrſche, weil eine Veränderung in der Wärme auch die Dichtigkeit der Luft verändert. Da nun die Luft durch Zuſammendrückung wärmer, durch Verdünnung kälter wird, ſo würde ſchon darum das Reſultat des Verſuchs nicht mehr zutreffen, wenn man nicht die Vorſicht gebraucht, jedesmal ſo lange zu warten, bis alle Schwankungen in dem Volumen, das die Luft jedesmal einnimmt, aufgehört haben, und ſie wieder den Wärmegrad erlangt, den die äußere Luft hat. Gut iſt es auch die Verſuche bei trockener Luft aufzuſtellen, weil eine eingeſperrte feuchte Luftmaſſe, wenn ſie gepreßt wird, leicht Waſſerdämpfe entwickelt, die dann auf das Reſultat des Verſuchs ebenfalls Einfluß haben.

Bei aller Richtigkeit des Geſetzes läßt ſich jedoch die Frage aufwerfen: ob es für alle nur erdenkbare, noch ſo weit gehende Verdichtung und Verdünnung der Luft ſeine Gültigkeit behalten, oder ob es irgendwo ſeine Gränze haben müſſe. Der Erfahrung nach kann dieſe Frage aus dem Grunde nicht beantwortet werden, weil, ſo weit dieſe reicht, das Geſetz ſich beſtätiget findet. Doch will man gefunden haben, daß es höchſtens nur bis zu einer achtfachen Verdichtung ſeine Richtigkeit behalte, aber noch für eine zwei- bis dreihundertfache Verdünnung gelte. Die Verſuche ſind aber, beſonders bei ſtarker Verdichtung, mit ſo vielen Schwierigkeiten verbunden, daß ſie keine genaue Reſultate mehr zu geben und die Frage bündig zu entſcheiden vermögen (§ 107). Theoretiſch aber bleibt ſie unentſchieden. Der Atomiſtiker behauptet, daß dieſes Geſetz ſowohl für die Verdichtung als Verdünnung nothwendig ſeine Gränze haben müſſe, weil bei der Verdichtung die Luftheilchen ſich endlich ſo nahe treten müßten, daß überhaupt keine engere Berührung mehr denkbar, mithin keine weitere Verdichtung mehr möglich ſey, und bei der Verdünnung müßte endlich eine Luft entſtehen, die gar keine Dichtigkeit mehr habe, mithin ein Körper ohne materielle Theile, was wiederum gar nicht denkbar ſey. Dynamiſch läßt ſich dieſen Einwendungen allerlei entgegen ſetzen, ohne deßhalb die Frage

Digitized by Google

gerade entgegengesetzt beantworten zu können. Man muß sich zuletzt damit begnügen, zu wissen, daß das Gesetz doch allen möglichen Erfahrungen Stich hält.

Mariotte stellte zwar seine Versuche nur mit atmosphärischer Luft an, allein in neuern Zeiten hat man gefunden, daß sein Gesetz auch auf alle andere Luftarten, selbst auf Dämpfe, anzuwenden ist, wenn während des Versuchs der Wärmegrad sich nicht ändert. Allein zur Vergleichung der Dichtigkeit zweier verschiedenen Luftarten, selbst bei gleichem Wärmegrad, kann dieses Gesetz nicht in Anwendung kommen, weil, der Erfahrung nach, jede Luftart unter gleichem Druck eine verschiedene Dichtigkeit haben kann. Auch ordnen sich verschiedene Luftarten von verschiedenem specifischem Gewicht, die zusammen in demselben Raume sich befinden, nicht nach dem Verhältniß dieser Gewichte übereinander, wie dieses bei derartigen tropfbaren Flüssigkeiten der Fall ist (§ 100), sondern jede dieser Luftarten dehnt sich nach ihrer eigenen Beschaffenheit so aus, als wäre sie allein in diesem Raume, und überall in demselben befinden sich dann alle Luftarten durcheinander.

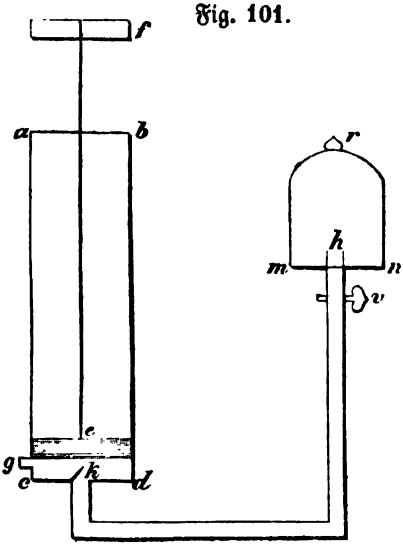
§ 119. (Folgen dieses Gesetzes.) Da in der ganzen Natur, überall, wo Gleichgewicht herrscht, Druck und Gegendruck einander gleich seyn müssen, so muß die Luft, vermöge ihrer Expansivkraft, das leisten, was hydrostatisch für communicirende Röhren stattfindet. Vermöge der Gesetze dieser Röhren kann eine kleine Menge Wasser einer weit größern Menge das Gleichgewicht halten, und einen Druck hervorbringen, der viel größer als ihr Gewicht ist (§ 94), und eben so muß auch eine kleine Menge Luft, vermöge ihrer Expansivkraft, einer größern Menge das Gleichgewicht halten, und einen Druck hervorbringen können, der viel größer als ihr Gewicht ist. Auf diese Weise läßt es sich erklären, wie jede Luftschichte den Druck aller der über ihr liegenden Schichten zu ertragen vermag. Nur dadurch, daß mit dem Drucke ihre Dichtigkeit, und so auch ihre Expansivkraft zunimmt, kann sie ihm Gleichgewicht halten. Ist demnach eine Luftmasse, sey es auch noch so wenig, in ein Gefäß eingesperrt, so drückt sie mit eben der Kraft auf die Wände des Gefäßes, mit der sie vor der Sperrung auf die äußere Luft gedrückt hat, und die Wände haben noch immer denselben Druck auszuhalten. Wegen der großen Subtilität der Luft ist aber die kleinste Oeffnung, der kleinste Ritz, hinreichend, die Verbindung zwischen der äußern Luft und einer eingesperrten zu erhalten, so daß diese abermals denselben Druck nach allen Seiten hin ausübt, den sie ausüben würde, wenn sie ganz frei oder völlig gesperrt wäre. Ein Barometer, das an beiden Enden luftdicht verschlossen ist, würde daher schon durch die kleine Portion Luft, die über dem Queckſilber im Gefäße oder dem kurzen Schenkel steht, auf seiner Höhe erhalten werden, allein diese Höhe auch nie ändern. Hat aber das Barometer an seinem offenen Ende einen Stöpsel, der es nicht luftdicht verschließt, so zeigt es doch immer die Veränderlichkeit des äußern Luftdrucks an. Eben darum kann auch ein Barometer in einem Zimmer, da dieses kein luftdicht verschlossener Raum ist, so hoch wie im Freien stehen, wenn die Wärme des Zimmers von der Wärme in freier Luft wenig oder nichts verschieden ist. Gesetzt aber auch, die Zimmerwärme weiche beträchtlich von der im Freien ab, so wird die Aenderung, die dadurch in der Barometerhöhe allerdings entsteht, doch für gewöhnliche Beobachtungen nicht sehr von Belang seyn, und wenn es darauf ankommt, sich leicht schätzen lassen. Wäre z. B. im Freien 13 Grad

Digitized by Google

Kälte und im Zimmer 16 Grad Wärme, so beträgt der Unterschied 29 Grad, wofür man von der Barometerhöhe im Zimmer, wenn sie 27 Zoll beträgt, etwa $2^1/_4$ Linien abzuziehen hätte (§ 112), um die Höhe zu erhalten, auf der das Barometer stehen müßte, wenn es im Freien hinge.

§ 120. (Luftpumpe.) Ein Werkzeug, welches so eingerichtet ist, daß man durch Druck eine Flüssigkeit aus einem Behälter heraus, oder in einen Behälter hinein bringen kann, wird überhaupt eine Pumpe genannt. Im ersten Falle gibt man ihr den Namen Saug- oder Verdünnungspumpe, im andern Falle heißt sie Compressions- oder Verdichtungspumpe. Die meisten Luftpumpen, die man jetzt verfertigt, sind zwar so eingerichtet, daß sie sowohl zur Verdünnung als Verdichtung der Luft gebraucht werden können, ihrer ursprünglichen und vorzüglichen Bestimmung nach ist aber die Luftpumpe als bloße Verdünnungspumpe zu betrachten. Die Ehre der Erfindung kommt dem schon oben erwähnten Otto von Guericke zu, und fällt in das Jahr 1650. Im Jahr 1654 stellte der berühmte Erfinder in Gegenwart des Kaisers Ferdinand III. und mehrerer deutschen Fürsten mit seiner Luftpumpe zu Regensburg Versuche an, und 1657 wurde sie vom Jesuiten Caspar Schott zuerst beschrieben. Da die Luftpumpe uns in den Stand setzt, die Naturkörper zu beobachten, wenn die Luft nur in einem sehr geringen Grade auf sie einwirkt, so ist sie ganz vorzüglich geeignet, uns über die Natur und die Eigenschaften der Luft zu belehren. Darum eben ist sie eins der wichtigsten Werkzeuge in jedem physikalischen Cabinet. Es läßt sich denken, daß, ihrer Wichtigkeit wegen, seit ihrer Erfindung Vieles daran geändert oder verbessert worden ist, um sie in einen immer vollkommenern Zustand zu versetzen. Wem es darum zu thun ist, alle die mannigfaltigen Einrichtungen und Abänderungen, wozu auch die hydraulischen Luftpumpen gehören, die aber nie in Gebrauch gekommen sind, einzeln kennen zu lernen, muß in einem vollständigen physikalischen Wörterbuch, oder in einer Geschichte der Physik Befriedigung suchen; von dem Gebrauche und der Wirksamkeit einer Luftpumpe kann man aber schon eine richtige Vorstellung bekommen, wenn man ihre wesentlichsten Theile bei der einfachsten Einrichtung kennt, so wie folgende Beschreibung sie darstellt.

Fig. 101.




abcd (Fig. 101) ist ein metallener Cylinder, den man den Stiefel nennt; er muß sehr gleichförmig und genau ausgebohrt seyn. In ihm kann der Stempel oder Kolben e vermittelst der Kolbenstange ef auf- und niedergezogen werden; der Stempel ist mit in Oel getränktem Leder umwunden, damit er vollkommen luftdicht an die inneren Wände des Stiefels anschließt. Mit dem Stiefel ist eine Röhre in Verbindung, die bis nach

Digitized by Google

h hinauf geht. Bei h ist die Röhre offen, und hat ein Gewinde, an welchem ein metallener Teller m angeschraubt ist. Bei den meisten Versuchen wird dieser Teller dazu benutzt, um eine gläserne Glocke r, einen Recipienten, luftdicht darauf anzudrücken. Ist der Teller matt und sorgfältig geschliffen, so schließt der Recipient schon luftdicht an, wenn man seinen Rand nur mit etwas Unschlitt bestreicht, und ihn sanft an den Teller andrückt. Bei vielen Luftpumpen ist aber der Teller nicht mit der gehörigen Sorgfalt geschliffen, dann muß er mit einem nassen Leder belegt werden, sonst schließt der Recipient nicht luftdicht an. Am Boden des Stiefels befindet sich eine Klappe k, die sich nach dem Innern des Stiefels öffnet, so daß sie durch Luft, die aus der Röhre kommt, aufgestoßen wird. Luft aber, die vom Stiefel herkommt, drückt die Klappe zu, und kann dann nicht mehr durchkommen und in die Röhre eindringen. Man nennt eine solche Klappe, die einer Flüssigkeit nur von einer Seite den Durchgang verstattet, und ihr diesen von der entgegengesetzten Seite her verwehrt, ein Ventil. Ein Stückchen Blase oder luftdichtes Wachstaffet ist zum Ventil bei einer Luftpumpe schon hinreichend. Unten am Stiefel, zwischen dem Stempel und dem Ventile, ist ein Seitenröhrchen g angebracht, welches auswärts ebenfalls ein Ventil hat, das sich nach g zu öffnet, nach o zu schließt, und in der Zeichnung als geschlossen dargestellt ist. Unter dem Teller sitzt ein luftdichter Stöpsel, oder ein Hahn v, durch den man nach Belieben das Innere der Röhre in Verbindung mit der äußern Luft setzen kann, wenn man, nachdem die Luft aus ihr fortgeschafft worden ist, wieder Luft hinzulassen will.

Um nun den Gebrauch und die Wirksamkeit einer Luftpumpe sich vorzustellen, denke man sich den Recipienten luftdicht auf dem Teller sitzend und v geschlossen. Von dieser Seite her kann also keine Luft mehr in die Röhre hinein kommen. Der Stempel, der auf dem Boden des Stiefels aufsteht, werde dann in die Höhe gezogen. Hierdurch entsteht in dem Stiefel unterhalb des Stempels ein luftleerer Raum. Die Luft, welche den Recipienten und die Röhre ausfüllt, findet nun keinen Gegendruck mehr, stößt daher sogleich das Ventil auf, und breitet sich in dem Stiefel aus; sie ist also dadurch verdünnt geworden. Drückt man den Stempel wieder hinunter, so stößt die Luft im Stiefel jetzt das Ventil wieder zu, kann daher nicht wieder in die Röhre zurücktreten, und bahnt sich durch g einen Ausweg ins Freie. Dieser Theil Luft ist also aus dem Recipienten und der Röhre hinausgeschafft worden. Wird nun der Stempel wieder aufgezogen, so entsteht unter ihm in dem Stiefel wiederum ein luftleerer Raum, die Luft in dem Recipienten und der Röhre drückt wieder das Ventil auf, breitet sich in dem Stiefel aus, stößt beim Hinunterdrücken des Stempels das Ventil wieder zu, und muß durch g entweichen, wodurch abermals aus dem Recipienten und der Röhre ein Theil Luft hinausgeschafft worden ist. Durch fortgesetztes Pumpen wird auf diese Weise immer mehr und mehr Luft aus der Röhre und dem Recipienten weggebracht. Der Körper, der unter dem Recipienten sich befindet, ist dann nur noch von sehr wenig Luft umgeben, woraus sich dann erkennen läßt, von welchem Einfluß diese auf ihn gewesen ist. Ein völlig luftleerer Raum, so leer, wie er in der Toricelliſchen Leere ist, läßt sich freilich durch eine Luftpumpe, wie gut sie auch seyn mag und wie lang man auch fortpumpt, nicht bewirken, weil die Luft in der Röhre und dem Recipienten endlich so dünn wird, daß sie das Ventil nicht mehr aufzu-

Digitized by Google

drücken im Stande ist, und dann auch nicht mehr entweichen kann. Zum Unterschied von der Toricellischen Leere nennt man daher den unter dem Recipienten entstandenen möglichst luftverdünnten Raum die Guerickische Leere, mitunter auch die Boylesche, weil Robert Boyle der Erste war, der die Luftpumpe verbesserte und mancherlei Versuche damit anstellte.

Die erste Luftpumpe, womit Otto von Guericke seine Versuche anstellte, war allerdings sehr unbeholfen und schwer zu regieren, und nur zu wenig Versuchen brauchbar, hauptsächlich darum, weil ihr der Teller mit dem Recipienten fehlte. Diese wurden erst, nachdem die Erfindung der Luftpumpe schon ungefähr dreißig Jahre alt war, mit noch vielen andern zweckdienlichen Einrichtungen, von einem französischen Arzt, Dionysius Papin, angegeben. In der Folge, wo man den Bau der Pumpe, theils um die Versuche bequemer anstellen zu können, theils um die Guerickische Leere möglichst weit zu treiben, immer mehr vervollkommnete, wurden auch das Ventil und das Seitenröhrchen mit einem Hahne vertauscht, der dicht unter dem Stiefel in der Röhre angebracht ist. Der Hahn ist so durchbohret, daß, je nachdem er gedreht wird, die Communication zwischen dem Stiefel und der Röhre, oder dem Stiefel und der freien Luft stattfinden und unterbrochen werden kann. Ein solcher in zwei verschiedenen Richtungen durchbohrter Hahn wird nach seinem Erfinder, dem Professor Senguerd in Leyden, ein Senguerd'scher Hahn genannt. Seitdem hat man auch zweierlei Arten von Luftpumpen: Ventil- und Hahnluftpumpen. Letztere haben manche Vorzüge, aber auch wieder eigene Nachtheile gegen die Ventilluftpumpen, besonders in Beziehung des schädlichen Raumes. Hierunter versteht man den kleinen Raum, der zwischen dem Boden des Stiefels und dem Hahne liegt. In diesem Raum bleibt immer etwas Luft zurück, die sich nicht wegschaffen läßt. Indessen wird dieser schädliche Raum sehr unbeträchtlich, wenn man den Hahn, so nahe als möglich, an dem Boden des Stiefels anbringt. Auch hat man schon Vorschläge gemacht, wo bei einer besondern Einrichtung des Stempels der schädliche Raum gar nicht stattfindet.

§ 131. (Apparate zur Luftpumpe.) Um allerlei Versuche mit der Luftpumpe anstellen zu können, sind übrigens noch mancherlei Geräthschaften erforderlich, hauptsächlich Recipienten von verschiedener Weite und Höhe. Zu vielen Versuchen muß man auch solche haben, durch die ein Metallstäbchen luftdicht hindurchgeht, um daran etwas aufhängen und unter dem Recipienten hin und her bewegen zu können. Dergleichen Recipienten müssen nun zwar oben offen seyn, sind aber durch eine Lederbüchse, d. h. durch mehrere über einanderliegende gut gefettete Lederscheiben, die durch einen metallenen Deckel zusammen gehalten werden, gegen das Eindringeen der Luft geschützt. Um die Größe der Verdünnung messen zu können, muß man das Barometer zu Hülfe nehmen. Man bedient sich hierzu einer nur einige Zoll langen Röhre, mit einer Zoll- und Linien-Skale, die man unter den Recipienten stellt, und die man die Barometerprobe nennt. Könnte man die Luft unter dem Recipienten ganz wegschaffen, so dürfte eigentlich in der Barometerprobe gar keine Quecksilbersäule stehen bleiben, allein auch bei der größtmöglichsten Verdünnung bleibt doch immer eine kleine Quecksilbersäule zurück. Dieses rührt theils von dem schädlichen Raum, theils auch daher, daß während dem Pumpen elastische Flüssigkeiten aus den mit Oel getränkten Theilen sich entwickeln, die ebenfalls auf die

Digitized by Google

Barometerprobe wirken. Dieser letzten Beziehung wegen nennt man auch die Barometerprobe überhaupt einen Elastizitätszeiger (Elatero-meter). Gesetzt, die Barometerhöhe sey zur Zeit des Versuchs 27 Zoll 6 Linien, und in der Barometerprobe wäre eine 2 Linien hohe Queckſilberſäule ſtehen geblieben, ſo müßte, vermöge des Mariottiſchen Geſetzes, der Druck der äußern Luft zu dem der verdünnten, in ſo fern er bloß als Folge des ſchädlichen Raumes betrachtet wird, ſich verhalten, wie 330 Linien zu 2 Linien, d. i. wie 115 zu 1, und die Luft wäre demnach 115mal dünner geworden. Mit einer guten Luftpumpe und bei kleinen Recipienten läßt ſich auch wohl die Verdünnung noch viel weiter treiben.

Es gibt auch Luftpumpen, bei denen das Barometer von außen daran befeſtigt iſt. Dann beſteht es aus einer etwa 30 Zoll langen Röhre, die leer und oben offen iſt. Mit dieſem offenen Ende wird ſie an eine Röhre angeſchraubt, die mit der Luftpumpenröhre und ſo mit dem innern Raum des Recipienten Gemeinſchaft hat, die man aber auch wieder durch einen Senguerd'ſchen Hahn nach Belieben hemmen kann. Das untere ebenfalls offne Ende der Röhre ſteht in einem Gefäß mit Queckſilber, auf welches die äußere Luft drücken kann. Iſt der Hahn während dem Pumpen geöffnet, ſo drückt die äußere Luft das Queckſilber aus dem Gefäße in die Röhre hinein, und die Säule ſteigt immer höher und höher, je dünner die Luft unter dem Recipienten, je geringer alſo der Gegendruck von innen her wird. Aus den bei der Barometerprobe angegebenen Gründen kann jedoch auch dieſes Barometer nicht zu der Höhe gelangen, welche das eigentliche Barometer zur Zeit des Verſuches anzeigt.

Noch genauer kann man die Größe der Verdünnung durch die Birnprobe meſſen, weil die elaſtiſchen Flüſſigkeiten, die ſich bei'm Pumpen entwickeln, auf dieſe Probe ohne Einfluß ſind. Hierzu bedient man ſich einer ungefähr einen halben Zoll weiten kleinen Glasröhre, die oben geſchloſſen, unten birnförmig geſtaltet iſt, und daſelbſt eine kleine Oeffnung hat (Fig. 102). Dieſe Röhre wird in einen Recipienten gehängt, und darunter ein Gefäß mit Queckſilber auf den Teller der Luftpumpe geſtellt. Während man pumpt, darf die Oeffnung in der Birn das Queckſilber nicht berühren, und die Luft in der Birn und der Röhre wird dann bei'm Auspumpen eben ſo, wie in dem Recipienten, verdünnt. Will man den Grad der Verdünnung wahrnehmen, ſo drückt man die Birn in das Queckſilber, und läßt Luft zu. Durch deren Druck tritt das Queckſilber in die Birn und Röhre hinein, und ſteigt darin um ſo höher, je größer die Verdünnung, je luftleerer alſo die Röhre geweſen iſt. Da die elaſtiſchen Dämpfe, die ſich während dem Pumpen entwickelt haben, bei'm Zutritt der Luft wieder niedergeſchlagen werden, ſo kann man durch Vergleichung der zurückgebliebenen Luft mit dem Inhalt des ganzen Gefäßes angeben, wie groß der Grad der Verdünnung geweſen iſt, vorausgeſetzt, daß man den Inhalt deſſelben kennt und die Röhre eine Skale hat, deren Abtheilungen auf kleine Theile dieſes Inhalts ſich beziehen.

Fig. 102.

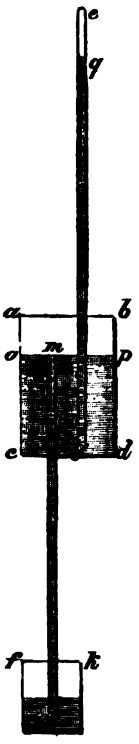
§ 122. (Phänomene.) Bekannt mit den Eigenſchaften der atmoſphäriſchen Luft und mit den Geſetzen ihres Druckes und ihrer Expanſibilität, iſt man im Stande, eine große Menge Phänomene, von denen die folgenden nur einen Theil ausmachen, zu erklären.

Digitized by Google

1) Ein Lichtchen, das auf einer Korkscheibe befestigt ist und auf Wasser brennend schwimmt, drücke man, vermittelst eines darüber gestürzten etwas hohen Glases, auf den Boden des Gefäßes. Ist kein Wasser in das übergestürzte Glas eingedrungen, so brennt das Lichtchen unter Wasser so lange fort, bis der Sauerstoff der im Glase enthaltenen Luft verzehrt ist, und erst, nachdem das Licht erloschen ist, tritt etwas Wasser in das übergestülpte Glas ein. Wegen der Undurchdringlichkeit der Luft konnte erst kein Wasser in das Glas eintreten, aber nach Abgang des Sauerstoffs, ohne welchen kein Licht brennen kann, gab es Raum zum Eindringen.

2) Die Taucherglocke So heißt ein Werkzeug, welches in der Gestalt einer Glocke, in neuerer Zeit auch in länglicht vierkantiger Form, dazu bestimmt ist, sich in beträchtlicher Tiefe unter Wasser lassen und eine Zeit lang dort aufhalten zu können. Unter der mit Luft erfüllten Glocke, die durch geeignete Vorrichtungen in das Wasser, namentlich in das Meer, hinabgelassen wird, befindet sich eine Bank, auf welcher der Taucher sitzt. Die Glocke ist von Blei, hat luftdicht eingesetzte starke Gläser, wodurch etwas Licht hineinkommt, und ist um das Untersinken zu befördern, noch mit starken Gewichten beschwert. Die Luft in der Glocke kann zwar, wie bei dem vorigen Versuch mit dem brennenden Lichtchen gezeigt wurde, nicht entweichen, daher auch kein Wasser eindringen, allein ihre Dichtigkeit nimmt mit der Zunahme der Tiefe zu. Da sie auf dem Lande einer etwa 32 Fuß hohen Wassersäule das Gleichgewicht hält, so muß sie, nach dem Mariottischen Gesetz, in einer Tiefe von 32 Fuß schon noch einmal so dicht, und einer Tiefe von 64 Fuß dreimal so dicht werden, als sie im Freien ist, und so ihre Dichtigkeit immer um eins vergrößern, je mehr die Tiefe um etwa 32 Fuß wächst. Indessen kann doch der Taucher, so lange die Luft in der Glocke noch hinreichenden Sauerstoff enthält, darin athmen, und um sie in diesem Zustand zu erhalten, wird vermittelst eines in einer Oeffnung der Glocke angebrachten Schlauches, der über dem Wasser hervorragt, fortwährend frische Luft in die Glocke hineingepreßt. So oft der Taucher auf dem Meeresgrunde, wo er aus der Glocke steigt, frische Luft schöpfen muß, begibt er sich wieder in dieselbe zurück, um Athem zu schöpfen, und wird ihm dieses endlich zu schwer, so gibt er, vermittelst einer in der Glocke angebrachten Schnur, an der über dem Wasser eine Schelle sitzt, das Zeichen, ihn wieder herauf zu ziehen.

Fig. 103.

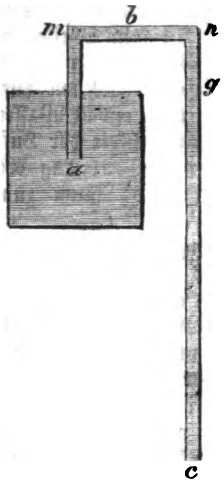



3) Die in neuerer Zeit in den Gebrauch gekommenen sehr bequemen Luftkissen, Luftsessel und dergl. beruhen auf der großen Elastizität der Luft. In einen durch Federharzfirniß luftdicht gemachten Zeug wird Luft hineingepreßt, und durch einen luftdichten Hahn darin eingeschlossen erhalten. Auch kann man nach Belieben die Luft wieder ablassen und neue hineinfüllen.

4) Sehr sinnreich ist der Apparat von Auzout, durch den man deutlich sehen kann, daß die Quecksilbersäule im Barometer eine Wirkung des Luftdrucks ist. Dieser Apparat besteht aus einem luftdichten Gefäße abcd (Fig. 103), das

Digitized by Google

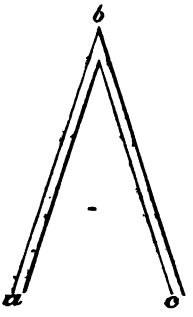
Fig. 104.




ganz mit Queckſilber gefüllt iſt, mit zwei Glasröhren nm und eg, von denen jede etwa 30 Zoll lang, und die eine eg oben bei e verſchloſſen iſt. Die andere nm ſteht mit ihrem offenen Ende n in einem Queckſilbergefäße fk. In dieſer Röhre ſteht denn eine Queckſilberſäule von etwa 28 Zoll Höhe, etwa bis op, während eg leer iſt. Wird aber bei a das Gefäß abcd geöffnet und Luft zugelaſſen, ſo fällt die Säule in nm herab, wogegen ſogleich in eg eine etwa 28 Zoll hohe Säule gq ſich erhebt.

5) Der Heber. Dieſen Namen führt eine jede gebogene, an beiden Enden offene Röhre abc (Fig. 104). Auf die Geſtalt der Biegung kommt es übrigens gar nicht an; dieſe könnte auch anders ſeyn, z. B. wie abc (Fig. 105) oder auf ſonſt eine Weiſe. Setzt man einen Heber mit der Mündung a in Waſſer, und ſaugt durch die Oeffnung c die Luft aus, ſo wird nicht nur der ganze Heber mit Waſſer angefüllt, ſondern es läuft auch das Waſſer nunmehr von ſelbſt beſtändig aus c ab, und dieſes ſo lange, als a unter Waſſer iſt. Jedoch muß der Heber, wenn dieſe Erſcheinung ſtattfinden ſoll, ſo liegen, daß c eine tiefere Lage als a hat. Ohne dieſe Bedingung kann das Waſſer nicht von ſelbſt ſeinen Ausfluß fortſetzen, wenn auch a unter Waſſer iſt. Das Merkwürdige an dieſer Erſcheinung iſt, daß das Waſſer, ſo lange zwiſchen ihm und a kein Zwiſchenraum iſt, von ſelbſt nach b aufſteigt, und beſtändig aus c ausfließt. Sich dieſe Erſcheinung zu erklären, denke man vorerſt, der Heber ſey mit Waſſer gefüllt, aber die Oeffnung bei c ſey geſchloſſen. Vermöge der Schwere drückt nun zwar das Waſſer, das in jedem Schenkel enthalten iſt, abwärts, kann aber dennoch nicht ſinken. Bei c nicht, weil der Schenkel dort geſchloſſen iſt, und bei a nicht, weil dann in der Verbindungsröhre mn ein luftleerer Raum entſtehen müßte. Der Druck der äußern Luft auf die Oberfläche des Waſſers im Gefäße, der eine Waſſerſäule von mehr als 30 Fuß hoch erhalten kann (§ 107), würde ſonach von ſelbſt ſchon die Waſſerſäule an erheben, und nicht ſinken laſſen. Iſt nun der Heber bei c offen, ſo drückt die äußere Luft auch auf dieſe Oeffnung, und es ſind jetzt überhaupt mehrere Kräfte thätig. Die Säule an drückt abwärts, vermöge der Schwere, und der Druck der äußern Luft drückt ſie aufwärts. In demſelben Fall befindet ſich die Säule nc; die Schwere drückt ſie abwärts, und durch den Druck der Luft auf c wird ſie aufwärts gedrückt. Obgleich nun c tiefer liegt als a, ſo iſt doch dieſes viel zu unbedeutend, um einen Einfluß auf die Wirkung des Luftdrucks zu haben, daher dieſer auf beide Schenkel für vollkommen gleichmäßig zu achten iſt. Die Kraft aber, mit der beide Säulen dem Druck der Luft entgegen wirken, iſt in dem langen Schenkel größer als in dem kurzen, behält demnach bei jenem die Oberhand, bringt die Luft zum Weichen, und fängt nun, vermöge der Schwere, auszufließen an. Indem dieſes erfolgt, ent-

Fig. 105.




Digitized by Google

steht in dem langen Schenkel, von a nach c hin, ein luftleerer Raum, in welchen immer wieder, so lange a unter Wasser liegt, eine neue Säule durch den äußern Luftdruck auf die Oberfläche des Wassers im Gefäße nachgeschoben wird, und diesen Raum sogleich ausfüllt, und auch den Ausfluß bei c beständig im Gange hält. Man sieht nun leicht ein, warum c eine tiefere Lage als a haben muß, wenn der Heber seine Dienste leisten soll, da sonst, wenn beide gleich hoch liegen, alle Kräfte, der Druck der Luft und der Gegendruck des Wassers, sich gleich seyn würden, und es könnte dann der Heber gar nicht fließen, vorausgesetzt, daß der Schenkel, der außer dem Wasser liegt, nicht zu weit ist. Denn ist er dieses, so schiebt sich die Luft leicht in ihn hinauf, drückt dann auch von oben her und die Portion Wasser, die er enthält, muß dann allerdings ausfließen; nachsteigen kann aber doch keine. Hätte aber der äußere Schenkel seine Mündung bei g, so daß ng kürzer als ma wäre, so müßte, wie leicht zu erachten, die Erscheinung sich umkehren, und das Wasser in das Gefäß zurückfließen. Außer den Bedingungen, daß c tiefer liegen muß, als a und daß a unter Wasser seyn muß, wenn der Heber beständig von selbst den Ausfluß unterhalten soll, ist aber auch erforderlich, daß m nicht höher als ungefähr 32 Fuß hoch über a liegt. Läge der wirklich höher, so kann durch den Druck der äußern Luft auf die Oberfläche des Wassers im Gefäße kein Wasser mehr nachgetrieben werden, weil dieses die höchste Wassersäule ist, die er zu halten vermag.

Daß der luftleere Raum, der von a nach c hin, wenn der Heber im Ausfließen ist, entsteht, in der That augenblicklich von dem äußern Luftdruck auf die Oberfläche des Wassers im Gefäße ausgefüllt wird, davon kann man sich auch noch näher überzeugen, wenn man den Heber vermittelst der Luftpumpe in einen luftverdünnten Raum bringt, wo er dann, auch wenn keine seiner Bedingungen fehlt, dennoch nicht fließt. Nur gehört zu diesem interessanten Versuche, daß die Verdünnung möglichst weit getrieben wird, weil für einen so kleinen Heber, wie er unter einem Recipienten seyn muß, auch eine kleine Portion Luft schon Dichtigkeit, und folglich Elastizität genug hat, um das Wasser zu heben. Man muß daher, damit der Heber nicht gar zu klein zu seyn brauche, einen zwar engen, aber etwas hohen Recipienten wählen, und keinen zu engen Heber nehmen, damit keine Capillarattraction stattfinde. Er darf aber auch nicht zu weit seyn, sonst leert er sich schon aus, ehe noch die Luft ausgepumpt ist. Außerdem muß man auch die Vorsicht gebrauchen, daß das Wasser, welches während dem Pumpen ausfließt, nicht in die Luftpumpe eindringen kann.

Am häufigsten bedient man sich des Hebers, um eine Flüssigkeit aus einem Fasse in ein anderes zu fällen, und gibt ihm dann, nach der Art, wie er gebraucht werden soll, diese oder jene Gestalt, und verschiedene Namen.

Krümmt man den äußern Schenkel des Hebers bei c um, und gibt ihm da eine enge Oeffnung, so entsteht ein hydrostatischer Springbrunnen, aus dem das Wasser, so lange der Heber den nöthigen Bedingungen entspricht, ungefähr so hoch als cn ist, springen kann (§ 95).

6) Der Vexirbecher. Dieses ist ein Becher mit einem hohlen Fuß, der eben so viel wie der Becher faßt. In der Seitenwand des Bechers liegt die Oeffnung des kurzen Schenkels eines Hebers versteckt, der lange Schenkel öffnet sich im Fuße. Ist der Becher so weit gefüllt,

Digitized by Google

daß auch der Heber voll ist, so führt dieser die Flüssigkeit in den Fuß hinein. Von dem Willen dessen, dem das Geheimniß bekannt ist, hängt es also ab, ob der Becher gefüllt bleiben, oder auf eine unsichtbare Weise sich ausleeren soll.

Auf eine ähnliche Art pflegt man die Erscheinung zu erklären, daß gewisse Brunnen und Seen bei niedrigem Wasserstande gefüllt bleiben, sich aber leeren, wenn das Wasser höher steigt, und eine gewisse Höhe erreicht hat. Solche Behälter stehen dann wahrscheinlich mit unterirdischen heberförmigen Kanälen in Verbindung, aus denen sie abfließen, sobald das Wasser so hoch steht, daß die Kanäle voll davon sind. Einen solchen merkwürdigen periodischen unterirdischen Abfluß hat, unter andern, der Cirknitzer See im Herzogthum Krain.

7) Die Sonnenfontaine. Auch diese ist nichts Anders als ein Heber. Am Ende des langen aufwärts gebogenen Schenkels befindet sich ein Ring mit vielen kleinen Löchelchen, aus denen das Wasser in einer Menge Strahlen springt.

8) Das umgekehrte Glas voll Wasser. Wenn man ein Trinkglas mit Wasser füllt, über die Oeffnung ein Papier legt und dieses etwas andrückt, dann das Glas nicht zu rasch umwendet, und unterst zu oberst hält, so läuft das Wasser nicht aus. Daß dieses von dem Druck der Luft gegen das Papier herrührt, ist augenscheinlich, und es würde nicht einmal des papiernen Deckels bedürfen, wenn man das Glas so umkehren könnte, daß das Wasser einen horizontalen Spiegel behielte, dessen Gegendruck auf die Luft von allen Seiten her gleich wäre. So aber schiebt sich, durch die schiefe Lage, die das Wasser im Umkehren annimmt, die Luft in die Höhe, drückt nun auch von oben abwärts, hebt dadurch den Druck von unten auf, und das Wasser folgt dem Gesetze der Schwerkraft, und fällt, wenn der Deckel nicht da ist, herab.

9) Der Stechheber. Ein ziemlich bekanntes Gefäß, um aus dem Spundloche eines Fasses eine Portion der darin enthaltenen Flüssigkeit auszusaugen. Die untere Oeffnung des Stechhebers verläuft sich in eine feine Spitze, die obere ist größer, kann aber mit dem Finger geschlossen werden. Ist der Heber mit einer Flüssigkeit gefüllt, und die obere Oeffnung geschlossen, so kann aus der untern engen Oeffnung, auf welche die äußere Luft jetzt einseitig drückt, nichts ausfließen, ohne daß diese, wie bei dem Glas voll Wasser gesperrt seyn müßte. Oeffnet man oben, so fließt die Flüssigkeit, und steht, so wie man schließt, wieder still, und dieses so lange, als dem Gegendruck der Flüssigkeit, sammt der darüberstehenden Luft, von dem äußern Luftdruck das Gleichgewicht gehalten wird.

Fig. 106.

Eine Menge von Spielsachen: das magische Dintenfaß, die magische Schreibfeder, der Zaubertrichter, der Oelkrug der Wittwe u. a. m., darf man nur zu Gesicht bekommen, um bei ihnen sogleich dieselbe Wirkung, wie bei'm Stechheber, zu erkennen.

10) Der Zauberbrunnen (Fig. 106), der abwechselnd läuft und stille steht. Dieser besteht aus einem Gefäß A, durch welches eine Röhre cd geht. Das Gefäßes ist oben geschlossen und kann durch die Röhre gefüllt werden. Ist dieses geschehen, so steckt man sie auf die Röhre df eines andern Gefäßes B das ebenfalls geschlossen ist. Nahe am Deckel des

Digitized by Google

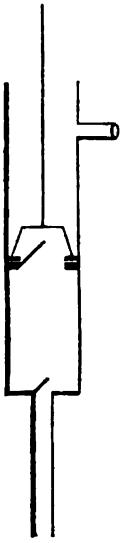
Gefäßes B hat die Röhre dk eine kleine Seitenöffnung, durch welche die Luft in die Röhre dringen, und auf das Waſſer in A von oben her drücken kann. Dieſes fließt dann aus mehreren, in dem Boden des Gefäßes angebrachten Röhrchen nach dem untern Behälter ab, deſſen Deckel eine kleine Oeffnung hat, durch die es in das Innere des Behälters dringt. Da dieſes aber viel langſamer erfolgt, als der Abfluß aus den obern Röhrchen, ſo ſammelt ſich auf dem Deckel des untern Gefäßes nach und nach ſo viel Waſſer an, daß es die Seitenöffnung der Röhre bedeckt, und der Luft den Zugang abſchneidet. Dann hört der Brunnen zu laufen auf. Iſt aber das Waſſer allmählig in das untere Gefäß ſo weit abgelaufen, daß die Seitenöffnung der Röhre wieder frei geworden iſt, ſo fängt der Brunnen wieder zu laufen an. Wer ſich die Mühe nehmen will, die Zeit, welche zwiſchen der Schließung und Freiwerdung der Seitenöffnung vergeht, zu bemerken, kann ſich den Spaß machen, der Erſcheinung zu commandiren.

11) Das Spundloch in einem Faſſe. Wozu dieſes dient, wenn das Faß durch das Krahnenloch geleert werden ſoll, iſt leicht einzuſehen. Soll es nämlich durch dieſe Oeffnung geleert werden, ſo muß das Spundloch offen ſeyn, ſonſt wird durch den einſeitigen Druck der Luft auf die Oeffnung am Krahnen, wenn ſie nicht weit genug iſt, der Ausfluß zurückgehalten. Thee- und Kaffeekannen bekommen aus demſelben Grunde oben im Deckel ein kleines Löchelchen.

12) Das Athemholen. Bei'm Einathmen erweitert ſich die Bruſthöhle; dadurch wird die Luft in den Lungen verdünnt, und die äußere Luft ſtrömt nun hinein. Bei'm Ausathmen verengert ſich die Bruſthöhle, und die dadurch verdichtete Luft ſtrömt in die äußere hinein.

Das Trinken, das Saugen mit dem Munde, beruht auf denſelben Gründen. Bei dieſen Verrichtungen wird die Luft im Munde verdünnt, und das Getränk wird dann durch den Druck der äußern Luft in den Mund hineingetrieben. Eben ſo wird bei'm Tabakrauchen die Luft durch Saugen verdünnt, wo denn die äußere Luft den Rauch in den Mund hinein drückt.

Fig. 107.



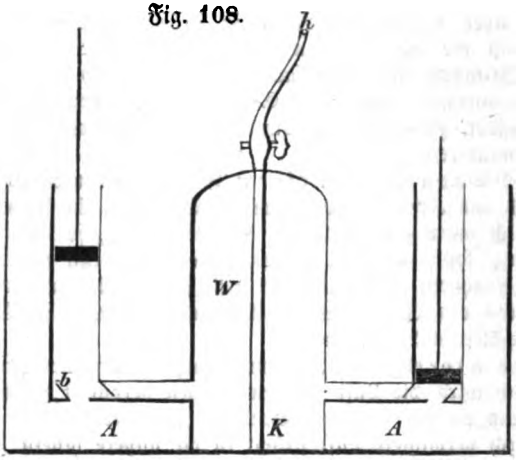
13) Die Saugpumpe (Fig. 107). Sie beſteht aus einer Saugröhre, die im Waſſer ſteht, und aus einem Stiefel, in welchem der Kolben, vermittelſt der Kolbenſtange, auf- und niedergezogen werden kann. Die Saugröhre hat ein Ventil, das ſich aufwärts öffnet. Auch der Kolben hat ein Ventil, das ſich ebenfalls aufwärts öffnet. Wird nun der Kolben in die Höhe gezogen, ſo entſteht unter ihm im Stiefel ein luftleerer Raum. Die Luft in der Saugröhre drückt nunmehr das Ventil auf und breitet ſich in den Stiefel aus, wodurch ſie verdünnt wird, und der ſtärkere Druck der äußern Luft treibt ſodann das Waſſer durch die Saugröhre. Wird der Kolben niedergelaſſen, ſo wird dadurch das Ventil an der Saugröhre zugedrückt, die dichter gewordene Luft öffnet dann das Kolbenventil und entweicht aus dem Stiefel. Auf dieſe Weiſe kann das Waſſer mit jedem folgenden Zug durch die Saugröhre in den Stiefel, und endlich durch das Kolbenventil bringen, und fließt ſonach durch die Ausgußröhre ab.

Digitized by Google

Daß bei einer Saugpumpe von dem Waſſerſpiegel bis zum nächſten Hub des Kolbens höchſtens 32 Fuß ſeyn dürfen, iſt bereits bemerkt worden (§ 107), allein dadurch daß man mehrere Pumpen über einander ſetzt, kann man das Waſſer auch noch viel höher heben. Man hat auch noch eigene Druckwerke, wo das Waſſer durch das Auf- und Niedergehen des Kolbens, der hier kein Ventil hat, in eine Seitenröhre getrieben und auf beliebige Höhe gehoben werden kann.

Die Feuerſpritze (Fig. 108) iſt unter andern ebenfalls ſo ein

Fig. 108.




Druckwerk. Sie hat meiſtens zwei Stiefel, die im Waſſerkaſten A ſtehen. Die Kolbenſtange iſt an einem Hebebaum ſo befeſtigt, daß immer der eine Kolben niedergeht (drückt), wenn der andere in die Höhe ſteigt (ſaugt). Wenn der Kolben ſaugt, geht das Ventil b auf, und das Waſſer tritt in den Stiefel. Wenn der Kolben drückt, ſchließt ſich das Ventil wieder, das Waſſer im Stiefel öffnet das Ventil der Seitenröhre und geht in den kupfernen Keſſel, den Windkeſſel w. Auf dieſelbe Weiſe wirkt auch der andere Kolben. Hierdurch wird die Luft in dem Windkeſſel immer mehr verdichtet, und drückt nun das unter ihr liegende Waſſer in die Röhre hk, oder in einen Schlauch hinein. Die Mündung der Röhre oder des Schlauches hält man, bis ſie voll Waſſer und die Luft im Windkeſſel gehörig verdichtet iſt, mit dem Daumen feſt geſchloſſen, wo dann, wenn ſie geöffnet wird, die verdichtete Luft einen langen und ſtarken Waſſerſtrahl heraustreibt, der durch anhaltendes Pumpen ununterbrochen unterhalten wird.

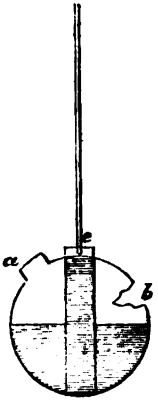
14) Der Schröpfkopf. Dieſer beſteht aus einer kleinen gläſernen Glocke, welche man über ein Licht hält, um die Luft darin zu verdünnen. In dieſem Zuſtand wird er auf die kleinen Oeffnungen, die man in der Haut mit dem Schröpfſchnäpper gemacht hat, geſetzt, und durch die äußere Luft angedrückt, durch die denn auch das Blut in den Schröpfkopf hinein gedrückt wird.

15) Der Blaſebalg. Wird dieſer aufgezogen, ſo dehnt ſich die Luft in ihm aus, wodurch ſie verdünnt wird. Die äußere Luft dringt nun durch ein Ventil, das ſich einwärts öffnet, ein. Bei'm Zuſammenpreſſen

Digitized by Google

schließt sich das Ventil und die nun verdichtete Luft strömt mit Gewalt zur Mündung der engen Röhre heraus. Es gibt einfache und doppelte Blasebälge, und noch andere dergleichen künstliche Vorrichtungen, die, wie z. B. bei Schmelzöfen, auf mancherlei Art eingerichtet sind.

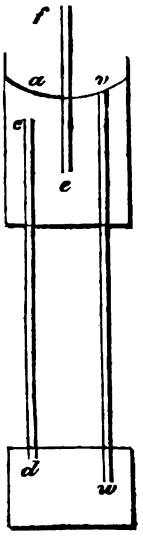
Fig. 109.




16) Der Heronsball. Er stammt von einem alten Mechaniker, Heron von Alexandrien, her, und ist jetzt auf verschiedene Weise eingerichtet. Er besteht aus einem cylinderischen oder kugeligen Gefäß (Fig. 109), welches bei a eine Oeffnung hat, um den Ballen zum Theil mit Wasser füllen, und ihn dann wieder verschließen zu können. Zu der Luft, die über dem Wasser stehen bleibt, preßt man auf irgend eine Weise durch die Oeffnung b, die inwendig ein Ventil hat, noch mehr Luft hinein. Die verdichtete Luft treibt das Wasser in die Röhre und dieses springt dann, wenn der Hahn bei c geöffnet wird, aus der Sprungröhre heraus.

Wenn man den Heronsball unter einen Recipienten der Luftpumpe stellt, so braucht man die über dem Wasser stehende Luft nicht zu verdichten; er fängt an zu springen, so wie die Luft, die ihn umgibt, verdünnt wird, weil nun die innere Luft dichter als die äußere ist.

Fig. 110.




17) Der Heronsbrunnen. Von demselben Erfinder. Ein oberer und ein unterer Behälter (Fig. 110) sind durch Röhren mit einander verbunden. Bei a kann man den obern Behälter mit Wasser füllen, dann fest verschließen. Jedoch darf man den Behälter nicht so hoch anfüllen, daß das Wasser durch cd in den untern Behälter dringen könnte. Nachdem a wieder verschlossen ist, gießt man auch Wasser in die Schüssel des obern Behälters; dieses fließt durch die Röhre vw in den untern Behälter, und verdichtet darin die Luft. Indem diese durch ed in den obern Behälter steigt, drückt sie auf das Wasser darin, und zwingt es, durch die Röhre ef zu springen.

## Versuche mit der Luftpumpe.

18) Eine zugebundene Blase, aus der man die Luft möglichst ausgedrückt hat, fängt, durch die Ausdehnsamkeit der in ihr noch zurückgebliebenen Luft, unter dem Recipienten der Luftpumpe schon nach einigen Kolbenzügen aufzuschwellen an; läßt man wieder Luft zu, so sinkt sie wieder zusammen.

19) Welche Gewalt der Luftdruck hat, wenn ihm nicht durch einen gleich großen Gegendruck das Gleichgewicht gehalten wird, sieht man auch daran, daß schon nach einigen Kolbenzügen ein Recipient so fest auf dem Teller der Luftpumpe steht, daß man ihn nicht mehr davon wegheben kann, ohne erst wieder Luft zuzulassen. Ist er eckig, so kann er von dem einseitigen äußern Luftdruck zersprengt werden. Nur weil er rund und oben gewölbt ist, also nach allen Seiten hin gleich stark gedrückt wird, auch oben bedeutend dick ist, kann er, ohne zersprengt zu werden, diesem Drucke widerstehen. Hält man die Hand über die Oeffnung des Luftpumpentellers,



Digitized by Google

so sind ebenfalls einige Kolbenzüge hinreichend, den Druck der Luft zu erkennen.

20) Stellt man einen an beiden Enden offenen Cylinder, auf dessen obern Oeffnung eine angefeuchtete luftdicht anliegende Blase festgebunden ist, auf den Teller der Luftpumpe, so wird diese, wenn man die Luft darunter verdünnt, von der äußern Luft kesselförmig eingedrückt. Gießt man Wasser in diese Vertiefung, so drückt die äußere Luft es durch die Poren der Blase durch. Ist die Blase trocken, so daß sie dem äußern Druck nicht genug nachgeben kann, so wird sie davon zersprengt. Ist statt der Blase eine Eierschale in dem Cylinder eingekittet, so wird durch den äußern Luftdruck auch durch die Poren der Eierschale Wasser gepreßt, wenn man unter ihr die Luft verdünnt. Eben so durch die Poren eines hölzernen Bechers, durch die auch Quecksilber in kleinen Kügelchen, in Gestalt eines feinen Silberregens, dringt. Kittet man eine runde Glasscheibe auf die obere Cylinderöffnung, so wird sie von dem äußern Luftdruck zersprengt. Dieses erfolgt sogar auch dann, wenn über der Scheibe etwas Wasser steht. In dem Augenblick, wo sie zersplittert, dringt die äußere Luft so heftig in den Cylinder ein, daß das Wasser in die Höhe spritzt. Kittet man einen Apfel auf, wozu man jedoch besser eine metallene Röhre gebraucht, so so wird er zerdrückt, und theilweise mit Gewalt in die Röhre hinein gepreßt.

21) Wenn man ein Glas mit Wasser, auf dem kleine Stücke Holz schwimmen, unter einen Recipienten stellt und die Luft auspumpt, so geht auch aus den Poren des Holzes Luft heraus. Geschieht dieses in gehöriger Menge, so sinken die Holzstücke unter, so wie man wider Luft zuläßt, weil alsdann auch Wasser in die Poren mit eindringt, und dieses das specifische Gewicht des Holzes so vergrößern kann, daß es nicht mehr auf dem Wasser zu schwimmen vermag. Hohle Glaskügelchen eignen sich auch zu diesem Versuche, wenn sie eine kleine Oeffnung haben, und diese beim Schwimmen unter Wasser ist. Hat man ein Stück Holz, das specifisch leichter als Wasser ist, nur mit so vielem Blei verbunden, als es, um unterzusinken, nöthig hat, so werden, durch die Verdünnung der Luft unter dem Recipienten, auch aus dem Holz viele Luftbläschen emporsteigen, und dieses dadurch nach und nach sein specifisches Gewicht so verringern, daß es, sammt dem angehängten Blei, auf die Oberfläche des Wassers emporsteigt und darauf schwimmt, bei'm Zulassen von Luft aber auch sogleich wieder untersinkt.

22) Hat man einen ziemlich hohen Recipienten mit dazu passender Vorrichtung, so kann man, wenn man ihn luftleer pumpt, wahrnehmen, daß Körper von sehr verschiedenem specifischen Gewicht, wenn ihnen die Luft nicht widersteht, z. B. ein Stück Metall und eine Flaumfeder, gleich schnell fallen, und dadurch das Gesetz, daß alle Körper gleich schwer sind, (§ 52) augenscheinlich machen,

23) Macht man in das spitze Ende eines Hühnereies eine kleine Oeffnung, und hängt es an dem stumpfen Ende unter einen Recipienten auf, so dehnt sich die Luft, womit die Haut an diesem Ende angefüllt ist, sogleich aus, wenn man den Recipienten auspumpt. Dadurch wird das Flüssige im Ei zu der kleinen Oeffnung herausgedrückt. Läßt man wieder Luft zu, so drückt diese es wieder in das Ei zurück. Ein ähnlicher Versuch läßt sich mit zwei Gläschen und einem gleichschenklichen Heber anstellen. Das eine Gläschen wird bis auf eine gewisse Höhe mit Wasser

Digitized by Google

angefüllt, und der eine Heberschenkel luftdicht in den Hals eingekittet. Der andere Schenkel liegt lose in dem andern Gläschen, das leer ist. Wird die Luft ausgepumpt, so findet die Luft, die in dem gefüllten Gläschen über dem Wasser steht, keinen Gegendruck mehr, und drückt daher das Wasser in den Heber, und so in das andere Gläschen hinüber. So wie man aber wieder Luft zuläßt, drückt diese das Wasser durch den Heber in das erste Gläschen wieder zurück. Statt der Gläschen bedient man sich auch einer kleinen Tonne mit einem Bachus darauf.

24) Ein sehr belehrender Versuch über den Druck der Luft läßt sich auch mit zwei Recipienten, einem kleinern und einem größern, anstellen. Aus dem größern, in welchem der kleinere hängt, schafft man die Luft weg, und schiebt alsdann den kleinern so oft auf den Teller der Luftpumpe hinunter, daß er neben dessen Oeffnung zu stehen kommt. Läßt man nun wieder Luft zu, so kann diese nicht in den kleinen Recipienten eindringen, wodurch denn dieser fest auf dem Teller angedrückt bleibt, während man den größern abnehmen kann. Soll er wieder abgenommen werden, so muß man erst den größern wieder über ihn stülpen, ihn an diesen wieder anhängen, dann, wenn die Luft wieder weggeschafft ist, ihn in die Höhe ziehen, und nun erst wieder Luft zulassen.

25) Den Schall einer kleinen Glocke, den Gang einer Taschenuhr, hört man fast gar nicht, wenn sie in einem luftleeren Raume sich befinden.

26) In sehr verdünnter Luft kann auch kein Verbrennen stattfinden. Nach einigen Kolbenzügen erlischt schon ein Licht, das unter dem Recipienten steht. Selbst Schießpulver schmilzt nur, entzündet sich aber nicht. Zu diesem Versuch gehört ein Recipient, dessen Lederbüchse eine solche Vorrichtung hat, daß etwas Pulver darin liegen bleibt, während man die Luft auspumpt, dann leicht durch sie hindurch fallen kann, wenn die Verdünnung, die hier möglichst weit getrieben werden muß, zu Ende ist. Man läßt dann das Pulver auf ein glühendes Eisen fallen, das unter dem Recipienten liegt. Zu den vielen Versuchen, zu deren Gelingen ein geschicktes Verfahren, und zur Verhütung von Schaden viele Vorsicht erforderlich ist, gehört auch dieser, da er nicht ganz gefahrlos ist. Nicht nur muß die Luftpumpe eine sehr weitgehende Verdünnung zulassen, man muß auch das Pulver erst ganz verschmelzen lassen, ehe man wieder Luft zuläßt, weil sonst immer noch eine Explosion erfolgen kann.

27) Auch Thiere können in verdünnter Luft nicht leben. Warmblütige sterben sehr schnell, kaltblütige halten den qualvollen Zustand länger aus. Ein lebendiger Frosch schwillt durch die viele Luft in seinem Innern ungemein auf, und Fische können, weil die Luft in ihrer Schwimmblase zu sehr ausgedehnt wird, nicht auf den Boden kommen, und müssen auf der Oberfläche des Wassers schwimmen.

Wie sehr die Luft, die in dem Innern eines Körpers enthalten ist, sich ausdehnt, wenn die äußere Luft ihr nicht entgegen drückt, kann man überhaupt bei allen Körpern, die viel Luft enthalten, leicht wahrnehmen, wenn man sie, z. B. einen Klumpen Sauerteig, Hefe und dergl., unter einen Recipienten bringt, und die Luft wegpumpt.

28) Auch das Aufwallen und Sieden der Flüssigkeiten erfolgt im luftleeren Raume weit schneller, weil sie dann den Gegendruck der äußern Luft nicht mehr zu überwinden brauchen. Mäßig warmes Wasser unter einen Recipienten gestellt, fängt bei'm Auspumpen der Luft bald zu sieden an.

29) Ein Stück Korkholz, welches mit einem Gegengewichtchen von



Digitized by Google

Blei einen Wagebalken in freier Luft im Gleichgewicht erhält, stört dieses, wenn man diese Vorrichtung unter einen Recipienten bringt und die Luft auspumpt. Der Arm, woran das Korkholz hängt, muß sinken. Man braucht nur an das Manometer zu denken (§ 117), um sich diese Erscheinung erklären zu können.

30) Die Magdeburgischen Halbkugeln. Als der Versuch mit der Toricellischen Röhre bereits bekannt, die Luftpumpe aber noch nicht erfunden war, stellte man die Versuche über das Verhalten der Körper im luftleeren Raume mit der Toricellischen Leere an. Besonders die Akademie zu Florenz war es, welche diese Leere zu solchen Versuchen benutzte, dadurch, daß sie die Röhre oben mit einer Kugel versah, die luftdicht verschlossen werden konnte. Befand sich auch der Körper, der in der Kugel lag, in einem luftleeren Raume, so wie das Queckſilber, mit dem Röhre und Kugel gefüllt wurden, bis zur Barometerhöhe zurücksank, und zwar in einem Raume, der bei weitem luftleerer war, als er durch die Luftpumpe zu erhalten ist, so hatten doch diese Versuche große Unbequemlichkeiten. Nicht nur, daß die Körper, die man zu den Versuchen nahm, doch immer nur sehr klein seyn konnten, war auch noch der ungünstige Umstand dabei, daß sie erst im Queckſilber liegen mußten, ehe sie in einen luftleeren Raum zu liegen kamen. Die Luftpumpe, wie unvollkommen sie auch zur Zeit ihrer Erfindung war, hatte demnach entschiedene Vorzüge gegen das Verfahren der Florentiner, und Otto v. Guericke konnte schon mit seiner Luftpumpe, die noch keinen Teller zu Recipienten hatte, weit mehr und weit auffallendere und belehrendere Versuche anstellen, als es mit der Toricellischen Röhre möglich war. Dahin gehört auch der Versuch, den er mit zwei metallenen hohlen Halbkugeln, die nach ihm die Guerickischen oder die Magdeburgischen genannt werden, auf dem Reichstag zu Regensburg anstellte. Diese Halbkugeln, die mit ihren Rändern genau auf einander passen, lassen sich, wenn man sie auf einander legt, ohne Anstrengung wieder von einander trennen, so lange die Luft in ihnen mit der äußern Luft gleiche Elastizität besitzt. Pumpt man aber die innere Luft aus, und versperrt, ehe man sie von der Luftpumpe wieder abschraubt, der äußern Luft durch einen an der einen Halbkugel befestigten Hahn den Zutritt, so hängen sie durch den Druck der äußern Luft so fest zusammen, daß nur eine sehr große Gewalt sie zu trennen vermag. Die, mit denen Otto v. Guericke seinen Versuch anstellte, hatten Ringe, woran Pferde gespannt werden konnten, und rissen erst unter heftigem Knallen von einander, als sechszehn Pferde, an jeder Seite acht, angespannt waren, die mit großer Anstrengung nach entgegengesetzter Richtung zogen.

Je größer der Halbmesser der Kugel ist, desto größer ist auch die Oberfläche, auf welche der Druck der äußern Luft wirkt, und mit diesem muß dann auch die Gewalt zunehmen, die zur Trennung der Halbkugeln erforderlich ist. Für ein jedes Paar Halbkugeln läßt sich daher die Kraft, mit der sie zusammenhängen, dadurch berechnen, daß man aus dem Halbmesser der Kugel die Fläche ihres Aequators, wo die Trennung stattfindet, berechnet. Ist diese Fläche gefunden und in Pariser Quadratzolle reducirt, so braucht man sie nur mit 15 zu multipliciren (§ 108), und kann nun die Gewalt, mit welcher die Kugeln zusammenhängen, in Pariser Pfund angeben. Soll die Berechnung ziemlich genau ausfallen, so wird man jedoch die Pfunde, die herauskommen, um $^1/_{50}$ vermindern können, weil doch noch immer ein kleiner Theil Luft in den Kugeln zurückbleibt.

Digitized by Google

Ist nun der Halbmesser der Kugel = r Zoll, so ist auch nach geometrischen Lehren der Halbmesser ihres Aequators ebenfalls r Zoll, mithin die Fläche desselben = $r^2 \times 3{,}14$. Folglich ist die Gewalt, mit der die Kugeln zusammenhängen, = $r^2 \times 3{,}14 \times 15$ Pfund = $r^2 \times 47{,}1$ Pfund, wofür man, wegen zurückbleibender Luft im Innern der Kugeln, $r^2 \times 46$ annehmen kann.

Die Kugeln, deren Otto v. Guericke sich bediente, hatten nach seiner eigenen Angabe 0,67 Magdeburger Ellen im Durchmesser, mithin $^{67}/_{200}$ oder 0,335 solcher Ellen im Halbmesser. Gegenwärtig, wo die Magdeburger Elle der Berliner gleich ist, hält sie beinahe $2^1/_2$ rheinländische Fuß, damals aber muß sie nach dem wie Otto v. Guericke angibt, 1,8088 rheinländische Fuß gehalten haben, mithin war der Halbmesser seiner Kugeln beinahe 0,606 rheinländische Fuß oder 7,272 rheinländische Zoll. Da man 30 dieser Zoll zu 29 Pariser Zoll rechnen kann, so hatten die Kugeln beinahe 7,03 Pariser Zoll im Halbmesser. Multiplicirt man diese Zahl mit sich selbst, so erhält man 49,4209, und diese Zahl mit 46 multiplicirt, gibt, wenn man den Bruch, der mit herauskommt, nicht achtet, 2273 Pariser Pfund. Mit dieser Kraft hielten die Kugeln zusammen, und die acht Pferde, die an jeder Seite zogen, mußten diese Kraft überwinden, um die Kugeln auseinander zu reißen. Jedes Pferd hatte daher eine Kraft von 284 Pariser Pfund zu überwältigen, und da man für den horizontalen Zug die Kraft eines Pferdes noch nicht einmal auf 200 Pfund anschlagen kann, so konnten auch 8 Pferde an jeder Seite diese Kugeln unmöglich auseinander reißen, wenn Guericke's Angaben richtig sind.

31) Man hat auch die Luftpumpe zur Bewegung von Wagenzügen auf Eisenbahnen (atmosphärische) zu benutzen angefangen. Die wesentliche Einrichtung besteht darin, daß zwischen den Schienen, der ganzen Bahn hindurch, eine Röhre von Gußeisen liegt, aus welcher, durch einen darin angebrachten luftdichten Kolben, die Luft, vermittelst einer feststehenden Dampfmaschine, von einer Seite ausgepumpt werden kann, während sie von der andern Seite her auf den Kolben drückt, und ihn nun hierdurch, mit dem ganzen Wagenzug forttreibt. Dieses auszuführen gelang zuerst Clegg und Samuda, jedoch vor der Hand nur erst auf kleine Strecken und mit einer Triebkraft von $12^1/_2$ ℔ auf den Quadratzoll, und da ihre Röhre einen Kolben von 176 Quadratzoll Oberfläche hatte, so konnten sie den Zug mit 2200 ℔ fortbewegen.

§ 123. (Luftverdichtung.) Alle diese Versuche und Erscheinungeu, denen man noch eine große Menge ähnlicher Phänomene beifügen könnte, liefern unumstößliche Beweise von dem Druck der Luft, den sie, theils durch ihre Schwere, theils durch ihre große Elastizität und Expansivkraft ausübt. So wie man nun die Wirkung des Luftdrucks dadurch vergrößern kann, daß man die in einem gewissen Raume enthaltene Luft immer mehr und mehr zusammenpreßt, wie dieses z. B. bei dem Cartesianischen Teufelchen, dem Heronsbrunnen, dem Windkessel einer Feuerspritze u. a. m. der Fall ist, so kann man dieses auch dadurch, daß man zu der Luft, die einen gewissen Raum ausfüllt, noch andere hineinschafft, die, wenn sie nicht wieder daraus entweichen kann, ebenfalls eine größere Elastizität erzeugt. Man nennt dieses Verfahren die Compression oder Verdichtung der Luft, und bedient sich hierzu eigner Compressionspumpen, deren Erfindung weit älter als die der eigentlichen Luftpumpe ist. Die Compressionspumpe

Digitized by Google

besteht aus einem starken metallenen Cylinder, in welchem ein Kolben luftdicht auf- und abgezogen werden kann (Fig. 111). An der untern Oeffnung hat der Cylinder ein kegelförmiges Ventil b, das sich auswärts öffnet, und nahe an seinem obern Ende hat er zur Seite eine kleine Oeffung a. Soll nun vermittelst dieser Maschine die Luft in einem Gefäße verdichtet werden, so wird dieses bei b angeschraubt. Wird dann der Kolben bis über a aufgezogen, so tritt durch diese Oeffnung Luft in den Cylinder hinein, die dann, wenn der Kolben wieder abwärts geht, das Ventil bei b aufstößt, und in das Gefäß gepreßt wird. Je mehr Kolbenzüge gemacht werden, desto mehr wird daher auch die Luft in dem Gefäße verdichtet, und desto größer wird dadurch die Wirkung ihrer Expansivkraft. Die Verdichtung läßt sich, wenn das Gefäß stark genug ist, sehr weit treiben, jedoch nie so weit, daß die Luft dadurch sichtbar werde. Vermittelst einer Compressionspumpe verdichtet man die Luft in dem Kolben (der Windkammer) einer Windbüchse, und diese verdichtete Luft ersetzt dann das Schießpulver der gewöhnlichen Feuergewehre, deren Form denn auch die Windbüchse hat. Liegt in dem Laufe der Windbüchse eine Kugel vor dem Ventil an der Windkammer, so wird sie, wenn die Luft hinlänglich verdichtet ist, mit großer Gewalt fortgetrieben, so wie man das Ventil öffnet. Dieses geschieht durch Losdrückung eines gewöhnlichen Flintenschlosses. In dem Augenblick, wo das Ventil sich öffnet, wird es aber auch durch eine angebrachte Feder gleich wieder zugedrückt, wodurch denn nur ein kleiner Theil der verdichteten Luft aus der Windkammer entweicht, und die andere darin zurück bleibt. Daher kann man, wenn die Luft stark verdichtet worden ist, mehrere Mal hinter einander schießen, ohne jedes Mal auf's neue comprimiren zu müssen; jeder folgende Schuß wird aber schwächer. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel fortgetrieben wird, hängt von ihrem Durchmesser, von der Länge des Büchsenlaufes und von dem Grade der Verdichtung ab.

Fig. 111.

Man bedient sich auch der Compressionspumpe, um die Luft in einem kupfernen Gefäße, worin Wasser ist, zu verdichten. Aus einem solchen Compressionsbrunnen springt dann das Wasser durch aufgeschraubte Röhren sehr hoch empor, wie dieses auch bei dem Heronsball der Fall ist.

Die Wirkung des Blaserohrs und der Knallbüchse ist ebenfalls eine Folge comprimirter Luft. Bier, das in Krügen gährt, bringt ebenfalls eine solche Wirkung hervor. Beim Gähren entwickelt sich viel Gas, das sich zwischen dem Bier und dem Pfropfen anhäuft, und dadurch verdichtet wird. Ist es hinlänglich verdichtet, so wirft es den Pfropf heraus und entweicht mit einem starken Knalle, und wenn dieser so fest sitzt, daß er nicht weicht, so zersprengt es den Krug.

Auch mit der eigentlichen Luftpumpe kann man die Luft verdichten, wenn man Luft in den Stiefel schafft, und ihr durch Ventile oder sonstige Vorrichtungen den Rückweg versperrt. Treibt man diese Luft in gläserne Gefäße, so müssen diese sehr stark und die Verdichtung nur mäßig seyn, weil die Gefäße sonst zersprengt werden. Treibt man sie in eine Federharzflasche, die an der Pumpe auf eine schickliche Weise befestigt ist, und nirgends eine Oeffnung hat, so wird diese ungemein ausgedehnt, und endlich von einander gerissen. Dasselbe ist auch bei einer schlaffen Blase der

Digitized by Google

Fall, die von der eindringenden Luft erst ausgedehnt, dann zerrissen wird. Ist um die Blase eine Kordel gelegt, in welche leicht aufzuziehende Knöpfe gemacht worden sind, so fahren diese, so wie die Blase sich ausdehnt, mit starkem Knalle auf.

**§ 124.** (Grad der Verdünnung der Luft durch die Luftpumpe.) Daß die Luftpumpe, sowohl die Ventil- als Hohnluftpumpe, keinen vollkommen luftleeren Raum zu bewirken vermag, ist bereits bemerkt worden. Außerdem, daß bei der Ventilluftpumpe die Luft endlich so dünn wird, daß sie das Ventil nicht mehr aufzudrücken, daher nicht mehr zu entweichen vermag, und bei der Hahnluftpumpe immer ein schädlicher Raum zurückbleibt, steht auch der vollkommenen Luftausleerung noch entgegen, daß von der äußern Luft, wenn die innere sehr dünn geworden ist, vermöge ihrer großen Subtilität, leicht durch allerlei Fugen und Poren, die doch einmal nicht ganz verhütet werden können, immer so viel wieder eindringt, daß die Verdünnung nie zu Ende gehen kann. Allein auch abgesehen von diesen Umständen, die in der Ausführung nicht zu vermeiden sind, kann auch das Verhältniß, nach welchem die Verdünnung mit jedem Kolbenzug sich vergrößert, nie so seyn, daß durch irgend eine Anzahl Kolbenzüge ein völlig luftleerer Raum entstehe. Dieses läßt sich mathematisch darthun, wenn man den innern Raum des Recipienten und der Verbindungsröhre mit dem innern Raum des Stiefels vergleicht und dabei bedenkt, daß die Luft aus dem Recipienten und der Verbindungsröhre auch in den Stiefel sich verbreitet, so wie dieser durch die Aufziehung des Kolbens luftleer wird, und daß eben dadurch die Verdünnung nach und nach zu Stande kommt. Nimmt man nun an, daß der innere Raum des Recipienten und der Verbindungsröhre a Kubikzoll, der innere Raum des Stiefels b Kubikzoll sey, so muß die Luft, die a ausfüllt, in a und b sich verbreiten, so wie der Stiefel luftleer wird, und eben dadurch wird sie in a verdünnt. Bezeichnet man ferner die Dichtigkeit der Luft im natürlichen Zustande mit d; die Dichtigkeit, die sie nach der ersten Aufziehung des Kolbens im Recipienten und der Verbindungsröhre noch behält, mit e; die nach der zweiten Aufziehung des Kolbens mit g u. s. w. und erinnert sich dabei des Satzes, daß bei gleicher Masse die Dichtigkeit sich umgekehrt wie das Volumen verhält (**§ 12**), so hat man folgende Proportionen:

1) $d : e = (a + b) : a$
2) $e : g = (a + b) : a$

Also ist:

3) $d : g = (a + b)^2 : a^2$

Bezeichnet h die Dichtigkeit nach der dritten Aufziehung des Kolbens, so ist:

4) $g : h = (a + b) : a$

Also:

5) $d : h = (a + b)^3 : a^3$.

Hieraus geht hervor, daß die Dichtigkeit nach jedem neuen Kolbenzuge zu der natürlichen Dichtigkeit sich verhält, wie die nach der Anzahl der Kolbenzüge fortschreitenden Potenzen von $a + b$ zu a. Daher muß die Dichtigkeit der Luft im Recipienten und der Verbindungsröhre nach der nten Aufziehung des Kolbens zu der natürlichen Dichtigkeit sich verhalten, wie $(a + b)^n : a^n$

Nimmt man die natürliche Dichtigkeit als Einheit, also $d = 1$ an, und bezeichnet man die Dichtigkeit nach dem nten Kolbenzug mit z, so ist

Digitized by Google

$$1 : z = (a + b)^n : a^n$$

$$\text{folglich } z = \frac{a^n}{(a + b)^n} = \left(\frac{a}{a + b}\right)^n$$

Da nun $\left(\frac{a}{a + b}\right)^n$ nie Null werden kann, so läßt sich daraus erkennen, daß es keine Anzahl Kolbenzüge gibt, durch welche ein völlig luftleerer Raum zu bewerkstelligen wäre.

Je größer aber b (der innere Raum des Stiefels) gegen a (den innern Raum des Recipienten und der Verbindungsröhre) ist, desto kleiner muß der Bruch $\frac{a}{a + b}$ werden, desto schneller also muß es mit der Verdünnung gehen. Eben darum kann man die Luft aus kleinen Recipienten, so wie aus hohen, wenn sie eng sind, weit schneller und vollkommener auspumpen, als aus weiten Recipienten.

Zur bessern Verständigung der allgemeinen Formel kann man sie auf einzelne Beispiele anwenden.

I. Wenn $b = a$ ist, d. h. der innere Raum des Stiefels gerade so groß, als der innere Raum des Recipienten und der Verbindungsröhre ist, so nimmt mit jedem Kolbenzug die Dichtigkeit der Luft gegen die Dichtigkeit im natürlichen Zustande nach folgender Reihe ab:

$$1;\ {}^1/_2;\ {}^1/_4;\ {}^1/_8;\ {}^1/_{16};\ {}^1/_{32} \text{ u. s. w.}$$

II. Wäre $b = 3a$, so erfolgt die Dichtigkeits-Abnahme nach folgender Reihe:

$$1;\ {}^1/_4;\ {}^1/_{16};\ {}^1/_{64};\ {}^1/_{256} \text{ u. s. w.}$$

III. Wäre aber a größer als b, z. B. $a = 3b$, so nimmt die Dichtigkeit viel langsamer und erst nach folgender Reihe ab:

$$1;\ {}^3/_4;\ {}^9/_{16};\ {}^{27}/_{64};\ {}^{81}/_{256} \text{ u. s. w.}$$

Aus der Gleichung $z = \left(\frac{a}{a + b}\right)^n$ kann man für jeden einzelnen Fall z (den Grad der Verdünnung) ausrechnen, wenn n (die Anzahl der Kolbenzüge) und a und b bekannt sind, nämlich:

$$\log. z = n\ [\log. a - \log. (a + b)]$$

So kann man auch n ausrechnen, wenn a, b und z bekannt sind, nämlich:

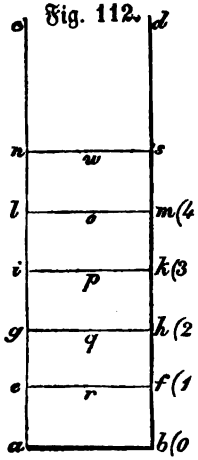
$$n = \frac{\log z}{\log. a - \log. (a + b)}$$

Die Ausrechnung ist aber nur, besonders in Beziehung auf z, der Theorie nach richtig; in der Ausübung treten, sowohl bei Ventil- als Hahnluftpumpen, Umstände ein, von denen auch schon die Rede war, die das Resultat der Rechnung sehr verändern können. Aus diesem Grunde muß z durch die Barometer- und Birnprobe bestimmt werden.

§ 125. (Barometrische Messungen.) Reichte eine Wassersäule bis an das Ende der Atmosphäre, so würde diese, vermöge ihrer Schwere, auf alle Körper, die unter ihr sich befinden, einen Druck ausüben, der immer desto größer seyn müßte, je tiefer der Körper unter dem Wasserspiegel läge. Weil aber die Wassermasse nur drückt, weil sie schwer ist, so nimmt bei ihr der Druck von unten nach oben in gleichem Verhältniß mit ihrem Gewicht, mithin in gleichem Verhältniß mit der Tiefe ab. Befände sich

Digitized by Google

Fig. 112.




zwischen den Linien ac und bd (Fig. 112) eine Wassersäule, welche auf die Schichte ih einen Druck = u ausübte, so wird sie auf die zunächst darunter liegende Schichte gf einen Druck = u + v ausüben, auf die weiter folgende ebenfalls gleiche Schichte eb aber wird der Druck wieder um v sich vergrößern, also = u + 2v seyn, wenn man annimmt, daß v das Gewicht einer jeden solchen Schichte bedeute. Auf die wiederum gleiche Schichte lk, welche zunächst über ih liegt, müßte der Druck = u — v, und wieder um v geringer, also u — 2v, müßte er auf die gleiche Schichte nm seyn, die zunächst über lk liegt. Bei einer Wassersäule nimmt daher der Druck von oben nach unten nach einer arithmetischen Reihe zu und von unten nach oben nach einer eben solchen Reihe ab.

Dasselbe Gesetz müßte nun auch stattfinden, wenn man sich eine Luftsäule denkt, die bis an das Ende der Atmosphäre reichte, da diese ebenfalls vermöge ihrer Schwere drückt; von unten nach oben muß das Gewicht dieser Säule, mithin auch ihr Druck abnehmen, von oben nach unten aber zunehmen. Da aber nach dem Mariottischen Gesetze (§ 118) ein größerer Druck die Dichtigkeit der Luft vermehrt, ein kleinerer sie vermindert, und mit der Dichtigkeit auch das Gewicht zu- und abnimmt, so kann der Druck von unten nach oben, und umgekehrt, nicht bloß von der Tiefe allein abhängen, und daher nicht nach einer arithmetischen Reihe erfolgen. Welch' anderes Verhältniß dabei zu Grunde liegt, ergibt sich aus folgender Betrachtung.

Zwischen den Linien ac und bd (Fig. 112) stehe eine in gleiche Schichten abgetheilte Luftsäule, deren ganzes Gewicht = u seyn soll. Das Gewicht aller Schichten, außer der untersten, sey = v; das Gewicht aller Schichten, außer den beiden untersten, sey = x u. s. w. Das Gewicht jeder einzelnen Schichte ist dann folgendes, nämlich:

Das Gewicht der Schichte eb = u — v.
" " " " gf = v — x ꝛc.

Denkt man sich die Schichten so klein, daß man ohne merklichen Fehler die Dichtigkeit innerhalb jeder Schichte als durchaus gleichförmig annehmen kann, so müssen sich die Dichtigkeiten von einer Schichte zur andern wie die Gewichte der einzelnen Schichten verhalten. Hat nun die Schichte eb eine Dichtigkeit = r, die Schichte gf eine Dichtigkeit = q, so muß seyn: r : q = (u — v) : (v — x)

Nach dem Mariottischen Gesetze verhalten sich die Dichtigkeiten auch wie die drückenden Kräfte. Da nun die drückende Kraft auf r = v, und auf q = x seyn soll; so muß auch seyn:

r : q = v : x

Also ist auch:

(u — v) : (v — x) = v : x

oder (u — v) : v = (v — x) : x

folglich: (u — v + v) : v = (v — x + x) : x, d. i. u : v = v : x.

Setzt man diese Betrachtung fort, und bezeichnet man das Gewicht aller Schichten, außer den drei untersten, mit y, so wiege die Schichte ih für für sich allein x — y, und es verhält sich nun, wenn die Dichtigkeit von ih = p ist,

Digitized by Google

$$q : p = (v - x) : (x - y)$$

auch: $q : p = x : y$
also: $(v - x) : (x - y) = x : y$
oder: $(v - x) : x = (x - y) : y$
ferner: $(v - x + x) : x = (x - y + y) : y$
also: $v : x = x : y$.

Da nun die Zahlen, welche das jedesmalige Gewicht aller Schichten angeben, nämlich u, v, x, y, paarweise ein gleiches geometrisches Verhältniß haben, nämlich

$$u : v = v : x$$
$$v : x = x ; y$$

also auch $u : v = x : y$ u. s. w., so bilden sie eine geometrische Reihe, die, wie leicht zu erachten, durch die ganze Säule fortgeht für Räume, die alle einander gleich und sehr klein sind. Bei einer Luftsäule nimmt daher der Druck von oben nach unten nach einer geometrischen Reihe zu, und von unten nach oben nach einer eben solchen Reihe ab.

Die Expansivkraft der Luft, der verschiedene Grad ihrer Dichtigkeit und die Barometerhöhe müssen, da sie von dem drückenden Gewicht abhängen, ebenfalls nach einer geometrischen Reihe ab- und zunehmen. Wenn daher die Stationen b, f, h, k, m, in einer arithmetischen Reihe fortgehen, nämlich 0, 1, 2, 3, 4 u. s. w., so nehmen dagegen die Barometerhöhen von Station zu Station in einer geometrischen Reihe ab. In Beziehung auf das Barometer hat man auch, bald nach seiner Erfindung, die Bemerkung gemacht, daß es immer zunehmend sinkt, je höher man steigt. Auf den hohen Bergen in Südamerika erhebt sich das Barometer nicht über 14 Zoll, und eine Saugpumpe würde daselbst das Wasser nicht über 16 Fuß hoch heben können. Auf dem Chimborasso, Höhe 20158 Fuß, ist die Barometerhöhe $12^5/_6$ Zoll; auf dem Montblanc (14764 Fuß) 16 Zoll u. s. w. Hierauf gründet sich eine für die physikalische Geographie sehr wichtige Anwendung des Barometers, die, daß man sich seiner zu Messung der Berghöhen bedienen kann.

Von allen Methoden, die man bis jetzt dafür angegeben hat, ist das Verfahren, dessen De Lüc sich bediente, das leichteste und einfachste und wenn gleich nicht in aller Strenge das richtigste, so ist doch der Fehler, der bei diesem Verfahren begangen wird, keineswegs so bedeutend, daß man es deßhalb leicht mit einem andern, das mehr Genauigkeit gibt, aber viel verwickelter ist, vertauschen wird.

Da die Barometerhöhen von unten nach oben in geometrischer Reihe abnehmen, so gründet sich das De Lüc'sche Verfahren auf folgende Betrachtung.

Wenn die Barometerhöhe an der Meeresfläche 28 Zoll = 336 Linien ist, so wird sie, wenn man eine Toise (6 Fuß) höher steigt, nur so wenig fallen, daß man 336 mit einem Bruch, der nur sehr wenig kleiner als 1 seyn kann, zu multipliciren hätte, um eine Zahl zu finden, welche der nunmehrigen Barometerhöhe entspreche. Setzt man diesen Bruch = n, so entsteht folgende Reihe:

Am Ende der 1. Toise ist die Barometerhöhe = $336\,n$
" " " 2. " " " " = $336\,n^2$
" " " 3. " " " " = $336\,n^3$

Durch eine sehr große Menge unternommener Messungen fand De Lüc, daß etwa 78 Fuß = 13 Toisen über der Meeresfläche das Barometer um eine Linie falle, also 335 Linien hoch stehe. Vermöge obiger Reihe

Digitized by Google

muß aber die Barometerhöhe am Ende der 13. Toise auch herauskommen, wenn man 336 mit n auf der 13. Potenz multiplicirt, daher dann

$$336\,n^{13} = 335$$

seyn muß.

Nun ist:

$$\log.\ 336 + 13\ \log.\ n = \log.\ 335$$

$$\text{also } \log.\ n = \frac{\text{lvg. } 335 - \log.\ 336}{13.}$$

Es ist ferner:

$$\log.\ 335 = 2{,}5250448$$
$$\log.\ 336 = 2{,}5263393.$$

Diesen von jenen abgezogen, bleibt übrig — 0,0012945, und diesen Rest durch 13 dividirt, gibt den negativen Logarithmen 0,0000996, welcher der Logarithme von n ist, und den De Lüc, seinen vielen Beobachtungen gemäß, zu 4 Zehnmilliontheilen größer annahm. Daher ist dann:

$$\log.\ n = -\,{}^{1000}/_{10000000} = -\,{}^{1}/_{10000}.$$

Soll nun eine Höhe von x Toisen barometrisch bestimmt werden, und zu dem Ende hätte man beobachtet, daß das Barometer am Fuße der Höhe auf a Linien, auf der Höhe auf b Linien stehe, so wird, wenn man hier wieder n in der vorhin angegebenen Bedeutung nimmt, folgende Reihe entstehen:

Am Ende der 1. Toise ist die Barometerhöhe $= an$
" " " 2. " " " " $= an^2$
" " " 3. " " " " $= an^3$ u. s. w.
Am Ende der xten Toise ist sie $= an^x$

Da sie nun hier auf b Linien steht, so muß auch

$$an^x = b$$

seyn. Folglich ist ferner:

$$\log.\ a + x\ \log.\ n = \log.\ b$$

$$\text{also } x = \frac{\log.\ b - \log.\ a}{\log.\ n}$$

d. i. $x = (\log.\ b - \log.\ a) : -\,{}^{1}/_{10000}$.

Weil aber hier a größer als b seyn muß, so kann man, um negative Zahlen zu vermeiden, Dividend und Divisor mit negativ 1 multipliciren, und man erhält:

$$x = (\log.\ a - \log.\ b) : {}^{1}/_{10000}$$
$$\text{oder } x = (\log.\ a - \log.\ b) \times 10000$$

d. h. man findet die Höhe in Toisen, wenn man den Barometerstand am Fuße und den auf der Höhe in Linien angibt, von beiden den Logarithmen aufsucht, den kleinern Logarithmen von den größern abzieht und den Rest mit 10000 multiplicirt.

Beispiele. I. Herr Hofr. v. Zimmermann gibt in seinen Beobachtungen auf einer Harzreise (Braunschweig 1775) an, daß in Ilsenburg die Barometerhöhe 27 Zoll $8\,{}^{11}/_{12}$ Linien = 332,92 Linien, und auf dem Brocken 25 Zoll ${}^{5}/_{12}$ Linien = 300,42 Linien gewesen sey. Wie hoch liegt hiernach der Brocken über Ilsenburg?

$$\log.\ 332{,}92 = 2{,}5223399$$
$$\log.\ 300{,}42 = 2{,}4777288$$
$$\text{Rest} = 0{,}0446111$$

mit 10000 multiplicirt, gibt 446,111 Toisen = 2676,666 Pariser Fuß

Digitized by Google

oder 29 Pariser Fuß zu 30 rheinländische gerechnet = 2768,965 rheinländische Fuß.

II. In welcher Höhe wird die Luft so dünn seyn, daß sie nur noch eine Queckſilberſäule von 1 Linie tragen könnte? Nimmt man die Barometerhöhe an der Meeresfläche zu 28 Zoll = 336 Linien an, so ist:

log. 336 = 2,5263393
log. 1 = 0,0000000
Rest = 2,5263393

mit 10000 multiplicirt, gibt in ganzen Zahlen 25263 Toiſen. Rechnet man beiläufig 3800 Toiſen auf eine geographiſche Meile, so beträgt dieſe Höhe etwa $6^1/_2$ Meilen. In dieſer Höhe würde demnach, wie man aus den Verſuchen mit der Luftpumpe folgern kann, kein Feuer brennen, kein warmblütiges Thier leben können.

III. In welcher Tiefe wird die Luft so dicht seyn, daß das Barometer noch einmal so hoch als an der Meeresfläche stehe?

Hier iſt log. (2 × 336 Linien) — log. 336 Linien = log. 2 = 03010300; mit 10000 multiplicirt, gibt in ganzen Zahlen 3010 Toiſen = 0,8 Meilen. Dieſes iſt aber eine Tiefe, zu der man nie gelangen kann, da der tiefſte Schacht noch nicht $^1/_{6000}$ des Erdhalbmeſſers (860 Meilen), mithin noch nicht den fünften Theil dieſer Tiefe in ſenkrechter Richtung beträgt. Schwerlich würde auch der menſchliche Körper den Druck der Luft, der in dieſer Tiefe über 600 Centner betrage, auszuhalten vermögen.

Noch iſt aber bei Höhenmeſſungen mit dem Barometer, wenn ſie nicht erheblich von der Wahrheit abweichen ſollen, auf allerlei Correctionen Rückſicht zu nehmen. Namentlich muß in Rechnung gebracht werden: 1) die Temperatur des Queckſilbers an der untern und obern Station, zu deren Beobachtung das an dem Barometerbrette *attachirte* Thermometer dient. 2) Die Lufttemperatur an dieſen beiden Stationen, durch ein *freies* Thermometer. Da das attachirte Thermometer nicht in der Queckſilberſäule des Barometers ſelbſt liegt, und das freie, durch allerlei Zufälligkeiten in der Atmoſphäre, manchmal bis zu einem Grad mehr oder weniger ſchwankend ſeyn kann, ſo ſind auch bei dieſen Temperaturbeſtimmungen kleine Fehler gar nicht zu vermeiden, und dieſe können, in Verbindung mit kleinen Verſehen in den Beobachtungen der Barometerhöhen an den beiden Stationen, die ebenfalls nicht ausbleiben, wie ſorgfältig man auch dabei zu Werke gehen mag, die gemeſſene Höhe immerhin noch um ein Hundertſtel herum fehlerhaft machen. 3) Die Zunahme der Schwere von dem Aequator nach den Polen zu (§ 54 und 63). Durch dieſe Zunahme wird eine Queckſilberſäule immer mehr wiegen, je näher die Stationen nach den Polen hin liegen, daher bei gleicher Grundfläche niedriger ſtehen, und nun die Höhe etwas zu groß angeben, dagegen aber nach dem Aequator hin weniger wiegen, daher höher ſtehen, und die gemeſſene Höhe wird etwas zu niedrig herauskommen. 4) Die Abnahme der Schwere von der untern bis zur obern Station, eine Abnahme, die bekanntlich nach dem Quadrat der Entfernung von dem Mittelpunkt der Erde ſich richtet (§ 54). Dieſe beiden Correctionen ſind indeſſen faſt immer nur unbedeutend, und können, wo man ſie nicht ganz übergeht, dadurch in Rechnung gebracht werden, daß man die gefundene Höhe, nach *Puiſſant*, mit 1,00321 multiplicirt. 5) Die Ungleichheit der in der Luft enthaltenen Dämpfe an der untern und obern Station, wenn bei

Digitized by Google

der Höhenmessung die Luft nicht vollkommen trocken ist. Diese Correction auf sichere Regeln zurückzuführrn, hat viele Schwierigkeiten. 6) Die sehr ungleiche und unbeständig wechselnde Wärme der Luft von Schichte zu Schichte von der untern bis zur obern Station, die nach Tages- und Jahreszeiten höchst verschieden seyn kann. Dieser Einfluß kann öfters von Bedeutung seyn, ist aber schwer zu ermessen.

Von diesen Correctionen, denen noch einige andere beizufügen wären, wenn die Höhemessung große Genauigkeit haben soll, sind aber besonders die beiden zuerst angegebenen am erheblichsten, und können daher niemals unberücksichtigt bleiben, wenn man auch die andern entweder ganz, oder theilweise, wegen ihrer Schwierigkeit oder mindern Erheblichkeit, außer Acht läßt.

Bei der Bestimmung der zuerst genannten Correction ist es üblich, diese allemal auf die Normaltemperatur von Null Grad zurückzuführen, daher muß man von den beobachteten Barometerhöhen den 4440sten Theil so viel mal abziehen, als das achtzigtheilige Queckfilberthermometer über dem natürlichen Gefrierpunkt, oder so viel mal addiren, als es unter diesem Punkt steht (§ 112).

Bei dem ersten der vorigen Beispiele sey der Thermometerstand auf dem Barometerbrette (die Temperatur des Queckfilbers) in Ilsenburg 18 Grad über dem Gefrierpunkt, und auf der Spitze des Brockens 13 Grad über diesem Punkt gewesen. Berichtigt man hiernach die beobachteten Barometerhöhen, so muß man von jener zu Ilsenburg $332{,}92 \times {}^{18}/_{4440}$ abziehen. Dieser Abzug beträgt 1,35 Linien, und die eigentliche Barometerhöhe war daher 331,57 Linien. Von der Barometerhöhe auf der Spitze des Berges gehen $300{,}42 \times {}^{13}/_{4440} = 0{,}88$ Linien ab, und es bleiben noch 299,54 Linien als eigentliche Barometerhöhe übrig. Nun ist:

log. 331,57 = 2,5205752
log. 299,54 = 2,4764548

Rest 0,0441204

mit 10000 multiplicirt, gibt 441,204 Toisen = 2647,224 Pariser Fuß.

Wegen der zweiten Correction hat De Lüc bei seinem Verfahren, wodurch er log. $n = {}^{1}/_{10000}$ bestimmte, das Mittel zwischen der untern und obern Wärme in der freien Luft zu $16{}^{3}/_{4}$ Grad über den natürlichen Gefrierpunkt nach dem achtzigtheiligen Queckfilberthermometer zu Grunde gelegt. Selten wird aber bei einer barometrischen Messung gerade dieses Mittel sich wieder finden. Wird die Wärme der freien Luft größer, so verlängert sich die Luftsäule, wodurch der Werth von n, mithin auch dessen Logarithmen, vergrößert wird. Bei der Abnahme der Wärme tritt der entgegengesetzte Fall ein. Durch sorgfältige Versuche hat De Lüc selbst diese Correction bereits näher bestimmt. Seinen Angaben gemäß ist folgendes Verfahren anzuwenden. Man beobachtet am Fuße und auf der Spitze der Höhe das freie achtzigtheilige Queckfilberthermometer, und nimmt von beiden Thermometerständen das arithmetische Mittel. Für jeden Grad, wo dieses Mittel größer als $16{}^{3}/_{4}$ Grad ist, wird ${}^{1}/_{215}$ aus der gefundenen Höhe zu dieser Höhe noch addirt, und für jeden Grad darunter von dieser Höhe subtrahirt.

Bei dem ersten der vorigen Beispiele war der freie Thermometerstand unten 17, oben $11{}^{1}/_{2}$ Grad; beide addirt, gibt $28{}^{1}/_{2}$ Grad; das Mittel davon ist also $14{}^{1}/_{4}$ Grad, mithin $2{}^{1}/_{2}$ Grad unter $16{}^{3}/_{4}$. War nun die Höhe, nach der Correction des Queckfilbers wegen der Wärme

Digitized by Google

2647 Pariser Fuß, so muß man nunmehr diese Zahl noch mit $2^1/_2$ mal $^1/_{215}$ multipliciren, und das Product, etwas über 30 Fuß, davon abziehen, um die Correction der Luftsäule wegen der Wärme in Anschlag zu bringen. Die Höhe, so berichtigt, beträgt dann 2617 Pariser Fuß.

Ein genaues Resultat ist indessen aus mancherlei Gründen von dem De Lüc'schen Verfahren nicht zu erwarten, und der Fehler, zu dem es führt, kann im Verhältniß zu der gemessenen Höhe mehr oder weniger beträchtlich seyn. Außer der übrigen Correctionen, die gar nicht beachtet sind, steht der Genauigkeit u. A. auch noch im Wege, daß der aus Versuchen bestimmte Bruch $^1/_{215}$ nicht zuverlässig ist, da andere Versuche ihn theils etwas kleiner, theils etwas größer ergaben, und daß er überhaupt auch nicht für alle Temperaturen unveränderlich bleibt. Genauer ist schon das folgende Verfahren, das hier durch ein Beispiel erläutert werden soll. Bei diesem Verfahren liegt der natürliche Gefrierpunkt des achtzigtheiligen Queckfilberthermometers zu Grunde. Durch Versuche hat man ausgemittelt, daß für diesen Wärmegrad das Barometer von 28 Zoll auf 27,99 Zoll, also um $^1/_{100}$ Zoll falle, wenn man um 8,746 Pariser Fuß in die Höhe steigt. Wie hiernach die Höhe mit den nöthigen Correctionen, aber auch nur für die beiden ersten, zu berechnen ist, mag folgendes Beispiel zeigen.

Von einem Orte, der 78 Fuß höher als der Genfer-See liegt, bestieg man den Montblanc. Das Barometer stand da auf 27,260 Zoll, das Thermometer daran auf 19,2 Grad über Null (den natürlichen Gefrierpunkt); in der freien Luft zeigte das Thermometer 22,6 Grad über Null. Auf des Berges Spitze stand das Barometer auf 16,022 Zoll, das Thermometer daran auf 1,2 Grad über Null, und in der freien Luft auf 2,3 Grad unter Null. Wie hoch ist der Montblanc über dem Genfer-See?

1) Man nehme das arithmetische Mittel der Wärmegrade an dem Barometerbrett, nämlich von 19,2 und 1,2. Dieß ist 10,2 Grad über Null.

2) Hiernach mache man die Correction des Queckfilbers wegen der Wärme. Die untere Wärme war 19,2 Grad, also um 9 Grad größer als die mittlere. Da nun jeder Grad $^1/_{4440}$ der ganzen Barometerhöhe beträgt, so macht dieß hier $^9/_{4440} \times 27{,}260 = 0{,}055$ Zoll. Diese von 27,260 abgezogen, bleibt für die untere Barometerhöhe 27,205 Zoll übrig. Die obere Wärme war 1,2 Grad, also um 9 Grad kleiner als die mittlere. Dieß macht $^9/_{4440} \times 16{,}022$, ungefähr 0,033. Diese zu 16,022 addirt, gibt 16,055 Zoll für die obere Barometerhöhe.

3) Versuche haben dargethan, daß eine Luftsäule für jeden Grad über Null um $^1/_{200}$ ihrer Länge zunimmt, und für jeden Grad unter Null um einen eben solchen Theil abnimmt. Nun war die untere Wärme der freien Luft 22,6 Grad über und deren obere Wärme 2,3 Grad unter Null; das Mittel zwischen beiden ist demnach 10,1. Beträgt nun die Ausdehnung der Luft für 1 Grad $^1/_{200}$, so beträgt sie für 10,1 Grad $^{101}/_{2000}$. Reducirt man diese Ausdehnung für die mittlere Wärme am Barometer, welche 10,2 Grad ist, so beträgt sie 0,051. (Nämlich: für 10,1 ist sie $^{101}/_{2000}$; wie viel 10,2.)

4) Nachdem man nun einerlei Wärmegrad in die Rechnung gebracht hat, bestimme man den Unterschied zwischen der Ausdehnung der Luft und des Queckfilbers. Dieses dehnt sich, bei 10,2 Grad Wärme um $^{10.2}/_{4440} = 0{,}0023$ seiner Länge aus. Zieht man diesen Bruch von 0,051 ab, so erhält man zum Rest 0,0487. Die Luftsäule, welche bei Null Grad Wärme

Digitized by Google

8,746 Fuß lang ist, bis das Barometer um $^1/_{100}$ Zoll fällt, wird also jetzt um 0,0487 × 8,746 Fuß, d. i. um 0,426 Fuß länger seyn. Addirt man diese Verlängerung zu 8,746, so erhält man 9,172 Fuß, d. h. bei einer Wärme von 10,2 Grad wird das Barometer von 28 Zoll auf 27,99 Zoll fallen, wenn man um 9,172 Pariser Fuß in die Höhe gestiegen ist.

5) Nach diesen Berichtigungen läßt sich die Höhe aus folgender Regel-Detri berechnen, nämlich:

(log. 28 — log. 27,99) : (log. 27,205 — log. 16,055) = 9,172 : x
d. i. 0,0001551 : 0,2290384 = 9,172 : x
also x = 13545 Pariser Fuß.

Addirt man noch dazu 78 Fuß für die anfängliche Höhe über dem Genfer See, so erhält man 13623 Fuß für die Höhe des Montblanc über diesem See. Eine trigonometrische Messung dieser Höhe gab 13659 Fuß, also nur den geringen Unterschied von 36 Fuß.

Rechnet man nach dem De Lüc'schen Verfahren, so kommt die Höhe niedriger heraus.

Mittlere Barometer- und Thermometerstände, wenn sie aus langen und sorgfältigen Beobachtungen hervorgegangen sind, lassen sich mit Vortheil zu barometrischen Messungen benutzen, erfordern jedoch Correctionen, die mehr ins Genaue gehen, und worüber man, so wie überhaupt über Höhenmessungen durch das Barometer, in eigens hierzu bestimmten Werken, z. B. in Schmidt's Handbuch der Naturlehre, in den Tables barometriques von Lindenau, Oltmanns und Biot, in Benzenberg's Beschreibung eines einfachen Reisebarometers, in Littrow's Höhenmessungen durch das Barometer, in Sukow's Hypsometrie u. A., nähere Belehrung findet.

§ 126. (Specifisches und absolutes Gewicht der Luft.) Da die Luft schwer ist, so kann man auch ihr specifisches Gewicht gegen Wasser und dadurch auch ihr absolutes Gewicht bestimmen. Ist aber schon die Einwirkung der Wärme bei der Abwägung des Wassers von Belang (§ 98), so muß sie bei der Abwägung der Luft es noch um so mehr seyn, da die Dichtigkeit einer so feinen und ausdehnsamen Flüssigkeit, wie die Luft ist, durch jeden Umstand, wenn er auch noch so gering zu seyn scheint, z. B. schon dadurch, daß sie mehr oder minder trocken ist, eine bedeutende Veränderung erleiden, und somit ihr specifisches Gewicht bald größer, bald kleiner ausfallen. Nimmt man die Barometerhöhe am Meere zu 28 Zoll, und für die Wärme der äußern Luft den natürlichen Gefrierpunkt nach dem achtzigtheiligen Thermometer an, so läßt sich aus den Versuchen, daß für 8,746 Pariser Fuß Höhe das Barometer um $^1/_{100}$ Zoll sinkt, das specifische Gewicht der Luft für diesen Barometer- und Thermometerstand berechnen. Da nämlich eine Queckfilbersäule, deren Höhe $^1/_{100}$ Zoll ist, einer Luftsäule von gleicher Grundfläche und 8,746 Fuß oder 104,952 Zoll Höhe das Gleichgewicht hält, so verhält sich das specifische Gewicht des Queckfilbers zu dem der Luft wie 104,952 zu 0,010, d. i. (in ganzen Zahlen) wie 10495 zu 1, mithin ist die Luft um 10495 mal specifisch leichter als Queckfilber. Da nun Wasser $13^3/_5$ mal leichter als Queckfilber ist, so ist die Luft beinahe 772 mal leichter als Wasser. Ein Pariser Kubikfuß Luft, bei 28 Zoll Barometerstand und Null Grad Wärme wiegt demnach den 772sten Theil von 70 Pariser Pfund; ein Pariser Pfund hat 9216 Pariser Grains, also wiegt ein solcher Kubikfuß 835,65 dieser Grains, oder 43 Pariser Pfund zu 45 Preußische und Frankfurter Pfund gerechnet, 3,03648 Frankfurter Loth.

Digitized by Google

Man kann auch das Gewicht der Luft durch wirkliches Abwägen auf einer genauen und empfindlichen Wage finden. Dieses geschieht auf folgende Weise: Eine hohle metallene oder gläserne Kugel, die mit einem Senguerd'schen Hahn versehen ist, wird auf die Luftpumpe geschraubt, so viel als möglich luftleer gepumpt, und dann gewägt. Alsdann läßt man die äußere Luft wieder in die Kugel treten, und wägt sie abermals. Um so viel sie jetzt mehr wiegt, als sie luftleer war, so viel wiegt die in ihrem innern Raum enthaltene Luft. Ist nun der innere Raum der Kugel bekannt, oder aus dem Durchmesser der Kugel gehörig berechnet, so kann man aus diesem Versuch das Gewicht eines Kubikzolles oder Kubikfußes Luft angeben.

Außer dem Stand des Barometers und Thermometers, der auch hier wieder bemerkt werden muß, erfordert dieser Versuch große Genauigkeit im Verfahren und mancherlei Berücksichtigungen. Dahin gehört vorerst, daß die Kugel, auch mit der besten Luftpumpe, nie ganz luftleer gemacht werden kann. Um diesen Fehler mit in Rechnung bringen zu können, muß man sich der Birnprobe bedienen. Da die Luft vielen Wasserdunst in sich enthält, so muß man, um ihr Gewicht rein zu erhalten, sie von diesen Dünsten möglichst zu befreien suchen. Dieses geschieht dadurch, daß man die Luft in der Kugel durch salzsauren Kalk, der die Wasserdünste anzieht, austrocknet. Genau genommen, muß man auch die Wirkung der Wärme auf die Ausdehnung der Kugel mit in Anschlag bringen, da auch diese durch die Wärme sich vergrößert, und daher bald mehr, bald weniger Luft in sich faßt. Beobachtet man alle diese Umstände, und bedient man sich einer nicht zu kleinen Kugel, damit ein kleiner Fehler, der auch durch das genaueste Abwägen nicht zu vermeiden ist, ohne Einfluß auf das Resultat des Versuches bleibt, so kann man hieraus das Gewicht der Luft sehr genau bestimmen, solches für einen gewissen Wärmegrad und Barometerstand berechnen, und nach ihm das Gewicht angeben, das die Luft für jeden andern Wärmegrad und Barometerstand haben muß.

Durch eine solche mit der größtmöglichsten Sorgfalt und Genauigkeit angestellte Abwägung hat sich ergeben, daß ein Kubik-Centimeter Luft bei dem natürlichen Gefrierpunkt und einem Barometerstand von 0,76 Meter unter dem 45sten Grad der Breite 0,001299075 Gramm wiege. Da nun 1 Pariser Kubikfuß 0,03427725 Kubik-Meter; ein Kubik-Meter 1000000 Kubik-Centimeter; ein Gramm 18,82715 Pariser Grains; 9216 Grains 1 Pariser Pfund; 43 Pariser Pfund 45 preußische und Frankfurter Pfund, und 1 Pfund 32 Loth hat: so wiegt nach dieser Berechnung, die sich am schnellsten durch Logarithmen führen läßt, bei einem Barometerstand, der mit 28 Pariser Zoll und nicht ganz einer Linie übereinkommt, 1 Pariser Kubikfuß Luft circa 3,044 Loth. Nun wiegt 1 Pariser Kubikfuß Wasser 70 Pariser Pfund oder 2344,186 Loth, mithin ist hiernach die Luft etwa 770 mal so leicht als Wasser.

Aeltere Physiker, die sich statt der Kugel einer Blase zu diesem Versuch bedienten, fanden das specifische Gewicht der Luft viel zu klein. Die Blase wurde zuerst so zusammengedrückt, daß fast alle Luft daraus entwich, dann genau gewägt. Nachher wurde sie aufgeblasen und abermals gewägt, und so viel sie jetzt mehr wog, so viel, glaubte man, wiege die darin enthaltene Luft. Bedenkt man aber, daß ein jeder Körper, der in einer Flüssigkeit sich befindet, von seinem Gewicht so viel verliert, als ein gleich großes Volumen dieser Flüssigkeit wiegt (§ 97), so sieht man bald ein,

Digitized by Google

daß dieser Versuch zu unrichtigen Resultaten führen mußte. Gesetzt, die Blase habe luftleer ein Loth gewogen, und man habe ein Loth Luft hineingeblasen, so müßte sie jetzt zwei Loth wiegen. Da sie aber jetzt auch ein Loth äußere Luft, oder, wenn die Luft in der Blase etwas dichter als die äußere ist, beinahe ein Loth verdrängt, so wird in jedem Fall die Wage entweder gar keine Gewichtszulage, oder doch noch lange kein Loth erfordern, und das Gewicht der in der Blase enthaltenen Luft wird entweder gar nicht, oder nur sehr wenig bemerkbar werden. Bei der Kugel hingegen, die, sowohl luftleer als luftvoll, ihr Volumen behält, muß das Gewicht, das sie im luftvollen Zustand mehr als im luftleeren hat, das Gewicht der darin enthaltenen Luft seyn. Ueberdieß sind Blasen nie ganz luftleer, noch luftvoll zu machen, und auch nicht groß genug, damit kleine Fehler beachtungslos würden.

In der Voraussetzung, daß die Luft ihre Dichtigkeit bei zunehmender Tiefe nach demselben Verhältniß vergrößere, wie solche bei zunehmender Höhe abnimmt, würde sie in einer Tiefe von über 7 Meilen schon so dicht als Wasser seyn, wie man leicht finden kann, wenn man log. 770 (ihr specifisches Gewicht) mit 10000 multiplicirt, und die herauskommenden Klafter in Meilen verwandelt. Die Aufgabe würde hier seyn: In welcher Tiefe ist die Barometerhöhe 770mal die der Meeresfläche? Hier ist also: log. 770 + log. 336 — log. 336 = log. 770; diesen mit 10000 multiplicirt gibt 28864 Toisen; diese durch 3800 (3807) dividirt = 7 Meilen und darüber. In einer Tiefe von 10 Meilen müßte sie aber schon so dicht seyn, daß Eisen, welches $7^4/_5$mal so dicht als Wasser, mithin 6006mal so dicht als die Luft ist, darin schwämme. Gold, welches $19^1/_4$mal so dicht als Wasser, und 14822mal dichter als Luft ist, müßte in einer Tiefe von 11 Meilen darin schwimmen. In der Tiefe wird daher die Luft nach und nach zum dichtesten Körper.

Da nach dem Mariottischen Gesetz (§ 118) die Dichtigkeit der Luft, mithin auch ihr specifisches Gewicht, in gleichem Verhältniß zu der drückenden Kraft steht, diese aber durch den Barometerstand bestimmt wird, so kann man auch das jedesmalige specifische Gewicht der Luft gegen Queckfilber für irgend einen Barometerstand berechnen, wenn es für einen bestimmten Stand bekannt ist. Nach Biot ist Queckfilber 10466,82mal specifisch schwerer als die trockne atmosphärische Luft bei einem Barometerstand von $0^m$,76 oder 28 Pariser Zoll und 0,9 Linien in der Temperatur von Null Grad Reaumur, wie viel beträgt dieß für 28 Zoll?

336,9 Linien : 336 Linien = 10466,82 : x

welches eine umgekehrte Proportion ist, weil bei einem niedrigern Barometerstand das specifische Gewicht der Luft geringer ist, daher $x = \frac{10466{,}82 \times 3369}{3360} = 10494{,}85$.

Hieraus ergibt sich eine andere Methode, um Höhen durch das Barometer zu bestimmen, wenn man vorher den Barometerstand auf Null Grad R. reducirt hat.

Beispiel. Es sey unterer reducirter Barometerstand = 27,92 Zoll, oberer = 27,34 Zoll, so ist der mittlere Barometerstand = 27,63 Zoll, daher specifisches Gewicht der (trocknen) Luft = 10635,39. Differenz der Barometerstände = 0,58 Zoll. Demnach ist die Höhe = 10635,39 × 0,58 = 6168,53 Zoll = 514,04 Pariser Fuß.



Digitized by Google

Aus dem specifischen Gewicht der Luft bei einem Barometerstand von 28 Pariser Zoll ergibt sich, daß hier eine Linie Queckſilber 10494,85 Linien Luft das Gleichgewicht hält, daher muß man um 10494,85 Linien oder 72,88 Fuß höher kommen, wenn das Barometer von 336 auf 335 Linien fallen soll. In dieser Höhe ist aber das specifische Gewicht der Luft, nach voriger Berechnung, = 10526,18, und soll nun das Barometer auf 334 Linien fallen, so muß man jetzt 10526,18 Linien = 73,09 Fuß höher kommen. Von 334 zu 333 Linien Barometerhöhe muß man demnach um 73,31 Fuß, und von 333 zu 332 Linien um 73,53 Fuß gestiegen seyn u. s. w. Hiernach ließe sich eine Tabelle berechnen, die bei Höhenmessungen benutzt werden könnte.

§ 127. (Barometrischer Coefficient.) Durch das Gesetz, daß die Barometerstände nach einer geometrischen Reihe abnehmen, während die Höhenstationen nach einer arithmetischen Reihe zunehmen (§ 125), so daß die Zahlen dieser Reihe die natürlichen Logarithmen von jener Reihe sind, kann man für die Differenz dieser Logarithmen eine Zahl finden, die für alle Höhenmessungen unverändert bleibt, und die man deßhalb den barometrischen Coefficienten nennt. Für die natürlichen Logarithmen, die aus den Reihen selbst sich ergeben, findet man diesen Coefficienten, wenn man für einen Barometerstand von 28 Pariser Zoll oder $2^1/_3$ Fuß diese Zahl mit dem specifischen Gewicht der Luft gegen Queckſilber, d. i. mit 10494,85 multiplicirt, und für die gemeinen Logarithmen, wenn man das Product noch mit 2,3025851 multiplicirt, d. i. Barom. Coeffic. = $2^1/_3 \times 10494{,}85 \times 2{,}3025851 = 56385{,}6$.

Für eine Barometerskale, die nicht in Pariser Zoll wäre, müßte natürlich auch der barometrische Coefficient anders herauskommen, weil da das specifische Gewicht der Luft für einen gewissen Barometerstand, z. B. für 28 Zoll, nicht mehr dasselbe ist. Für eine Meterskale z. B. würde dieser Coefficient für den Barometerstand von $0^m,76$ seyn = $10466{,}82 \times 0{,}76 \times 2{,}3025851 = 18316{,}6$.

Wie hiernach Höhen bestimmt werden können, mag folgendes Beispiel zeigen: Es sey unterer Barometerstand 27,17 Pariser Zoll, oberer 19,845 Zoll; untere Queckſilbertemperatur 14,9 Grad R., obere 7,6 Grad; untere Lufttemperatur 15,3 Grad, obere 3,2 Grad.

1) Correction des Queckſilbers:

a) von 14,9 ab 7,6, Rest 7,3

b) $1^0 : 7{,}3^0 = \frac{27{,}17''}{4440} : x$, also $x = 0{,}0447$

c) von 27,17″ ab 0,0447, Rest 27,1253 Zoll

für den untern Barometerstand. Der obere kann hier uncorrigirt bleiben.

2) Demnach wäre die Höhe = (log. 27,1253 — log. 19,845) × 56385,6 = (1,4333745 — 1,2976511) × 56385,6 = 0,1357234 × 56385,6 = 7652,86 Pariser Fuß.

3) Correction der Luft. Nach Gay-Lüſac's Angaben beträgt die Ausdehnung der Luft für jeden Reaumur'schen Grad $\frac{1}{213{,}3}$ ihrer Länge. Nun ist hier die mittlere Lufttemperatur = $\frac{15{,}3 + 3{,}2}{2} = 9{,}25^0$, daher:

$$1^0 : 9{,}25^0 = \frac{7652{,}86}{213{,}3} : x, \text{ also } x = 331{,}88$$

Digitized by Google

Da hier die Mitteltemperatur über Null ist, so muß die gefundene Höhe um so viel größer werden, daher ist sie = 7652,86 + 331,88 = 7984,74 Pariser Fuß.

4) Correction wegen der Schwere; nach Puissant = 7984,74 × 1,00321 = 8008,72 Pariser Fuß.

§ 128. (Höhe der Atmosphäre.) Daß die Höhe der Atmosphäre irgendwo ihre Gränze haben müsse, läßt sich schon daraus abnehmen, daß, astronomischen Beobachtungen gemäß, der Bewegung des Mondes und vieler andern Weltkörper kein Luftkreis Widerstand leistet, der dem der Erde gleich wäre. Erwägt man aber, daß die Dichtigkeit der Luft nicht eigentlich im strengen Sinne in einer geometrischen Reihe von unten nach oben abnimmt, daß vielmehr diese Abnahme dadurch vergrößert wird, daß auch die Schwere sich immer desto mehr vermindert, je höher man kommt, und daß die Wärme in beträchtlicher Höhe so gering seyn muß, daß sie keine Ausdehnung der Luft mehr bewirkt, so läßt sich auch aus diesen Umständen der Schluß ziehen, daß die Atmosphäre eine gewisse Gränze nicht übersteigen werde. Obgleich nun die Bestimmung dieser Gränze außer dem Kreise möglicher Erfahrungen liegt, und darum die Frage: wie weit die Atmosphäre sich erstrecke, nicht genügend zu beantworten ist; so kann doch eine Höhe angegeben werden, über welche hinaus man wahrscheinlich keine Spur einer Atmosphäre mehr erlangen könnte, wenn man auch bis zu dieser Höhe zu steigen vermöchte. Astronomisch hat man diese Höhe aus der Dauer der Dämmerung auf etwas über 10 Meilen berechnet. Nimmt man an, daß man so hoch steigen könnte, daß das Barometer von 28 Zoll nach und nach so tief sinke, daß nur noch eine Queckſilbersäule von $^1/_{100}$ Linie darin stehen bliebe, und daß von da weiter an die Dichtigkeit der Luft nicht mehr abnehme, daß hier also der Anfang ihrer Verdichtung sey, so würde dieses, alle Correctionen, die ohnehin bei einer solchen Höhe ihre Gültigkeit verlieren, bei Seite gesetzt, bloß nach der De Lüc'schen Grundformel berechnet, folgendes Resultat geben, nämlich:

log. 336 Linien = 2,5263393
log. $^1/_{100}$ = — 2
Rest = 4,5263293

mit 10000 multiplicirt = 45263 Toisen = 12 Meilen. Diese Höhe wäre demnach die letzte Spur einer bemerkbaren Atmosphäre, und daß sie noch höher sich erstrecke, läßt sich nur aus der großen Höhe, in welcher die Nordlichter, die Sternschnuppen und manche andere Meteore entstehen, noch vermuthen, aber nicht mehr mit Zuverlässigkeit bestimmen. Ist das Nordlicht wirklich eine atmosphärische Erscheinung, so könnte man daraus folgern, daß die Atmosphäre über 50, vielleicht gar über 100 Meilen hoch seyn müsse. Wäre die Atmosphäre durchaus von gleicher Dichte, der Barometerstand 28 Pariser Zoll und die Luft 10495mal specifisch leichter als Queckſilber (§ 126), so würde ihre Höhe 28 × 10495 = 24488 Pariser Fuß seyn, und ihre Gränze würde dann an den höchsten Bergspitzen sich finden. Betrachtet man die ganze Atmosphäre als eine hohle Kugel, welche die Erde umgibt, so wäre diese Höhe, welche 4081 Toisen beträgt, der eine, und der Halbmesser der Erde, den man hier, wo es nicht auf besondere Genauigkeit ankommt, zu 3270000 Toisen annehmen kann, der andere Theil ihres Halbmessers und der ganze Halbmesser wäre dann = 3274081 Toisen. In diesem Falle wäre ihr kubischer Inhalt



Digitized by Google

$= {}^4/_3 \times 3{,}14 \times 3274081^3$ — dem Inhalt der Erde, d. i. — $= {}^4/_3 \times 3{,}14 \times 3270000^3 = 4{,}19 \times (3274081^3 - 3270000^3)$, welches eine halbe Trillon Kubiktoisen ergäbe, als totale Menge der Luft, welche, unter diesen Voraussetzungen, die Erde umgäbe. In Meilen wäre dieß beinahe 10 Millionen Kubikmeilen, 1 Meile zu 22843 Pariser Fuß, 24488 Pariser Fuß zu 1,0722 Meilen und den Halbmesser der Erde zu 860 Meilen gerechnet.

Nach La Place kann sich die Höhe der Atmosphäre bis dahin erstrecken, wo Centrifugalkraft und Schwerkraft im Gleichgewicht sind, welches in einer Höhe von etwa 5680 Meilen der Fall ist. Berechnen läßt sich dieses so: Auf der Oberfläche der Erde, in der einfachen Entfernung von ihrem Mittelpunkt, ist der Fallraum in der ersten Sekunde 15 Fuß, oder 2160 Linien. Beträgt er nun in einer xfachen Entfernung g Linien, so verhält sich $x^2 : 1^2 = 2160 : g$, weil die Schwerkraft, welche bekanntlich den Fall bewirkt, dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist (§ 54); daher ist $g = \frac{2160}{x^2}$. Da aber die Centrifugalkraft unter dem Aequator die Schwerkraft um $\frac{1}{289}$ vermindert, (§ 56), so wird hierdurch der Fallraum um $\frac{2160}{289} = 7.47$ Linien kleiner, daher er in der xfachen Entfernung um $x \times 7{,}47$ kleiner werden muß, weil bei gleichzeitiger Achsenumdrehung die Centrifugalkraft im Verhältniß zum Halbmesser zunimmt. Soll demnach x die Höhe bedeuten, wo die Centrifugalkraft der Schwerkraft gleich ist, so ist auch:

$$\frac{2160}{x^2} = x \times 7{,}47$$

$$\text{oder } x^3 = \frac{2160}{7{,}47} = 289$$

$$\text{also } x = \sqrt[3]{289} = 6{,}6 \text{ Erdhalbmesser.}$$

Rechnet man diesen Halbmesser zu 860 Meilen, so findet man 5676 Meilen. Dieses ist dann auch die äußerste Gränze der Atmosphäre, denn ging sie noch weiter, so würde nur die Centrifugalkraft noch allein wirken, und die Atmosphäre müßte, dieser Kraft folgend, die Erde verlassen. Auch muß die Atmosphäre, wie die Erde, an ihren Polen abgeplattet seyn, allein aus mancherlei Ursachen viel bedeutender als diese. La Place zeigte, daß die Achse der Atmosphäre von Pol zu Pol höchstens um $^1/_3$ kleiner seyn kann, als ihr Durchmesser am Aequator, wenn man nur die größere Schwungkraft allein in Rechnung bringt.

§ 129. (Pneumatik.) Diesen Namen führt die Wissenschaft, welche von den Gesetzen der Bewegungen ausdehnsamer Flüssigkeiten handelt. Die atmosphärische Luft, durch deren Bewegungen große Naturerscheinungen herbeigeführt werden, und der Wasserdunst, der, nebst der Luft, als bewegliche Kraft zu vielen Maschinen benutzt wird, machen die Hauptgegenstände der Pneumatik aus. Die Theorie dieser Gesetze macht aber einen eignen und so schwierigen Abschnitt der angewandten Mathematik aus, daß hier nicht weiter von ihr die Rede seyn kann. Auch ist man noch lange nicht so weit gekommen, diese Theorie so vollständig zu ergründen, daß man im Stande wäre, sie zur Erklärung großer Naturbegeben-

Digitized by Google

heiten benutzen zu können. Dem Forschungsgeist des Menschen ist hier noch ein großes Feld freigelassen. Die Hauptfrage der Pneumatik ist die Bestimmung der Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegungen ausdehnsamer Flüssigkeiten erfolgen. Ist die Beantwortung dieser Frage schon für die Hydraulik von großer Schwierigkeit (§ 95), so ist sie es noch mehr in der Pneumatik, da hier noch weit mehr Umstände eintreten, welche der Untersuchung fast unübersteigliche Hindernisse in den Weg legen. Außerdem, daß auf die Geschwindigkeit einer bewegten Luftmasse der Gegendruck der übrigen Luft von großem Einfluß ist, hängt sie auch noch von der verschiedenen Dichtigkeit, dem verschiedenen Wärmegrad, und von den Mischungsverhältnissen ab, und noch sind bis jetzt die Grundsätze, nach welchen die Einwirkungen dieser Umstände auf eine allgemein gültige Weise berechnet werden können, keineswegs hinlänglich bekannt. In der Voraussetzung, daß Luft aus einem Gefäße in einen Raum hineinströme, der luftleer ist, hat man gefunden, daß die Geschwindigkeit bei nicht zu großer Höhe, bei einem Barometerstand von 28 Zoll und dem natürlichen Gefrierpunkt etwa 1200 Fuß für eine Sekunde betrage. So unsicher diese Berechnung bei dieser Voraussetzung für die Anwendung ist, dient sie doch dazu, manche Erscheinung verständlich zu machen. Dahin gehört z. B. der heftige Knall bei'm Losbrennen eines Feuergewehrs. In dem Augenblick, wo das Pulver sich entzündet, verwandelt sich ein großer Theil desselben in eine ausdehnsame glühende Flüssigkeit, und da sie in einem sehr kleinem Raum eingepreßt ist, so dehnt sie sich mit so großer Gewalt aus, daß sie alle Luft aus dem Gewehr hinaustreibt, und mit großer Geschwindigkeit entweicht. Dadurch entsteht im Laufe des Gewehrs ein luftleerer Raum, in den dann die äußere Luft mit einer Geschwindigkeit von 1200 Fuß für die Sekunde eindringt und so den heftigen Knall veranlaßt. Bei einer Windbüchse, wo bei der Entweichung der Kugel keine so heftige Explosion statt hat, und im Laufe kein so luftleerer Raum entsteht, ist eben darum auch kein Knall wahrzunehmen. Große Kugeln, z. B. Kanonenkugeln, die mit großer Geschwindigkeit sich bewegen, verdichten die Luft vor sich her, und diese kann dann so heftig in den Menschen eindringen, daß er, wenn die Kugel nahe an ihm vorbeistreicht, dadurch erstickt oder auf irgend eine Weise verletzt wird. Auch läßt sich hieraus manche bei Gewittern vorkommende Erscheinung erklären, da der Blitz gewiß eine weit größere Geschwindigkeit, als 1200 Fuß in einer Sekunde hat.

Da die Wärme die Luft ausdehnt, so drückt diese die kältere Luft, von der sie umgeben ist, zurück, und steigt, da sie leichter als diese ist, in die Höhe. Durch die Wärme wird daher ein doppelter Luftstrom bewirkt; oben strömt die wärmere Luft ab, und unten strömt die kältere zu. Man kann dieses an der Thüre eines geheizten Zimmers wahrnehmen, wenn man diese etwas öffnet, und ein brennendes Licht an die Oeffnung hält. Oben wird die Lichtflamme auswärts, unten einwärts spielen.

Auf diese Art entsteht der Luftzug in Oefen und Kaminen, und so werden, durch Erwärmung und Abkühlung einzelner Luftregionen, heftige Winde erzeugt.

§ 130. (Zerlegung der atmosphärischen Luft.) Priestley, einem englischen Geistlichen, der mit großem Scharfsinn und außerordentlicher Genauigkeit eine Menge Luftarten, die man vor ihm theils gar nicht, theils nicht

Digitized by Google

genugsam kannte, zu entbinden, aufzufangen und zu untersuchen begann, und seinem großen Zeitgenossen, dem berühmten französischen Chemiker Lavoisier, der am 8. Mai 1794 als Opfer der französischen Revolution auf dem Blutgerüste starb, und der durch höchst sinnreiche und gründliche Versuche eine Umgestaltung der ganzen Chemie veranlaßte, verdanken wir auch die ersten entscheidenden Versuche über die Bestandtheile der atmosphärischen Luft.

Dienlich zur Belehrung, wenn auch nicht vollkommen genau, läßt sich ein solcher Versuch durch das Verbrennen eines Körpers in einem luftdicht verschlossenen Raume anstellen, etwa auf folgende Weise: Auf Queckſilber, das in einer Schale sich befindet, legt man ein kleines Stückchen Phosphor, und stürzt einen gläsernen Recipienten darüber, dessen Rand ringsum durch das Queckſilber so gesperrt wird, daß von außen keine Luft weiter in ihn hinein dringen, von innen keine entweichen kann. Auf irgend eine schickliche Weise, etwa durch einige glühende Kohlen, die man äußerlich an den Recipienten hält, sucht man den auf dem Queckſilber liegenden Phosphor zu entzünden, welches, da er von Natur sehr entzündbar ist, bald erfolgt. Wenn der Phosphor zu brennen aufhört, die Dämpfe, die sich im Innern des Recipienten dabei gebildet haben, wieder niedergeschlagen sind, und der Recipient wieder erkaltet ist, steigt das Queckſilber ziemlich hoch in den innern Raum des Recipienten hinauf. Ist der Phosphor nur zum Theil verbrannt, so kann man den Versuch wiederholen, und dieses so lange, bis keine weitere Entzündung des noch übrigen Phosphors erfolgt. Wenn das Queckſilber nicht weiter steigt, und der Recipient wieder vollkommen durchsichtig und kalt geworden ist, hebt man ihn ab. Hält man nun eine brennende Kerze in denselben hinein, so erlischt sie auf der Stelle, und streuet man von der verbrannten Phosphormasse etwas auf einen blauen Pflanzensaft (Lakmustinktur, Veilchensaft, Kornblumentinktur u. s. w.), so wird dieser roth davon gefärbt. Stellt man aber den Versuch mit einem schicklich eingerichteten Apparate so an, daß man das Gewicht der eingesperrten Luft und das des Phosphors vor der Entzündung desselben genau bemerken kann, so findet sich nach der Verbrennung im Ganzen zwar dasselbe Gewicht wieder, aber die Luft hat für sich allein einen Gewichtsverlust erlitten, und um eben so viel hat die verbrannte Phosphormasse an Gewicht zugenommen. Hieraus geht dann hervor, daß die Luft durch die Verbrennung des Phosphors einen Bestandtheil verloren, und daß dieser mit der Phosphormasse sich verbunden habe. Da der Phosphor nach dem Verbrennen die Eigenschaft einer Säure, einen blauen Pflanzensaft roth zu färben, angenommen hat, so muß er der Luft einen Sauerstoff entzogen haben, und Sauerstoffgas einen Bestandtheil der atmosphärischen Luft ausmachen. Die Luft, die nach dem Verbrennen noch in dem Recipienten zurückblieb, war aber untauglich zur Unterhaltung des Verbrennungsprocesses, und ein warmblütiges Thier kann in ihr nicht athmen, sondern muß darin ersticken. Dieses ist demnach ein Stickstoff, und Stickstoffgas ist also der andere Bestandtheil der atmosphärischen Luft. Hiernach hat man gefunden, daß 100 Gewichtstheile atmosphärischer Luft 23,299 dieses Gewichts an Sauerstoff und 76,701 an Stickstoff enthalten. Dem Volumen nach bestehen aber 100 Theile oder Maß atmosphärischer Luft aus 21 Maß Sauerstoff, 78,999 Maß Stickstoff (§ 106) und 0,001 Maß mehr oder weniger Kohlensäure. Nebst diesen Bestandtheilen, die jedoch nicht eigentlich chemisch

Digitized by Google

verbunden, sondern nur mit einander gemengt sind, enthält die Luft noch eine wechselnde Menge Wasserdampf, Wasserstoffgas und allerlei andere Substanzen, worunter auch solche sind, die auf das Leben und die Gesundheit, namentlich der Menschen, einen nachtheiligen Einfluß haben, und Miasmen genannt werden.

Man hat die atmosphärische Luft an sehr verschiedenen Orten, auf bedeutenden Höhen und in Thälern, auf dem Meere, in Städten und Dörfern, unter sehr verschiedenen Himmelsstrichen der östlichen und westlichen Halbkugel der Erde und zu allen Jahreszeiten, selbst in Krankensälen, untersucht, und keine merkliche, wenigstens keine sehr abweichende Verschiedenheit zwischen den Verhältnissen ihrer beiden Hauptbestandtheile entdecken können. Nur der Antheil an Kohlensäure war bald etwas größer, bald etwas kleiner.

§ 131. (Athmen.) Der Antheil der atmosphärischen Luft an Sauerstoff, der noch nicht ganz den vierten Theil ihres Volumens ausmacht, ist es aber allein, der das Brennen der Körper und das Athmen warmblütiger Thiere zuläßt. Der Sauerstoff der eingeathmeten Luft verbindet sich mit dem Kohlenstoff in den Lungen zu einem kohlensauren Gas, und dieses wird, nebst dem größten Theil des eingeathmeten Stickgases, wieder ausgeathmet (§ 122. 12). Man kann sich hiervon überzeugen, wenn man ein warmblütiges Thier, z. B. eine Maus, unter einen Recipienten setzt, dessen Rand man ringsum durch Queckfilber gesperrt, und dessen innern Raum man hierdurch von der äußern Luft abgeschnitten hat. Das Thier bekommt Verzuckungen und stirbt. Früher als das erste stirbt ein zweites, das man darauf unter denselben Recipienten setzt, wieder früher ein drittes, und endlich stirbt eins augenblicklich. Die Menge Luft in dem Recipienten ist dabei nicht, wie bei dem Verbrennen des Phosphors, merklich vermindert worden, daher auch kein Queckfilber in den innern Raum der Glocke eingedrungen. Die Thiere, die athmend den Sauerstoff verzehrt haben, müssen daher eine eben so große Menge andere Luft ausgeathmet haben. Legt man jetzt ein Stück frisch gebrannten Kalk unter den Recipienten, so wird sich die Luft in demselben fast in eben dem Verhältniß, wie bei der Verbrennung des Phosphors vermindern und nur noch Stickgas in dem Recipienten zurückbleiben. Da es nun aus Versuchen bekannt ist, daß frisch gebrannter Kalk die Kohlensäure anzieht, so muß kohlensaures Gas von den Thieren ausgeathmet worden seyn. Versuche, die von mehreren Naturforschern über Athemholen sind angestellt worden, die aber freilich, wie dieses leicht zu erachten ist, nicht vollkommen genau übereinstimmen, haben dargethan, daß der Mensch in einer Minute im Durchschnitt 19 Athemzüge thue, und daß er mit jedem Athemzug etwa 17 Kubikzoll Luft einathme, und nur den sechstausendsten Theil weniger wieder ausathme, daß aber unter der ausgeathmeten Luft fast $8\frac{1}{2}$ Procent kohlensaures Gas ist. Diesen Versuchen gemäß athmete jeder Mensch 39535 Kubikzoll kohlensaures Gas in 24 Stunden aus.

§ 132. (Sauerstoffquellen.) Schlägt man den Sauerstoffgehalt der Luft zu $\frac{1}{5}$ der totalen Luftmenge nach obiger Berechnung an (§ 128), so müßte sie über 100000 Billonen Kubiktoisen von diesem Stoffe enthalten. Nimmt man an, daß 1000 Millionen Menschen gleichzeitig auf der Erde leben, so würden diese, vermöge vorstehenden Angaben über das Athmen, in 10000 Jahren nur erst etwa 0,1 Procent davon verzehren. Bedenkt man aber, daß auch eine zahllose Menge warmblütiger Thiere diesen

Digitized by Google

Stoff mit verzehren helfen; bedenkt man ferner, wie viel Sauerstoff der Luft entzogen wird durch die sehr vielen Verbrennungs- und Gährungsprocesse, die immerwährend im Gange sind; daß die Verwandlung der Metalle in eine kalkige erdige Haut, was man die Oxydation nennt, wie man aus Versuchen weiß, dadurch geschieht, daß sie aus der Luft den Sauerstoff anziehen; daß viele Flüssigkeiten, die der freien Luft ausgesetzt sind, sauer werden, also ebenfalls mit Sauerstoff sich sättigen; daß nach den Beobachtungen einiger Naturforscher auch kaltblütige Thiere, wie Würmer, Schnecken u. s. w., durch die über ihren Körper zerstreut liegenden Respirationswerkzeuge, Sauerstoff verschlucken, und kohlensaures Gas aushauchen; daß selbst die Fische den Sauerstoff mit verzehren helfen; daß das Pflanzenreich ebenfalls nicht davon ausgeschlossen ist, und wie groß überhaupt die Menge der noch gar nicht einmal bekannten Dinge seyn mag, die der Atmosphäre Sauerstoff entziehen: so kann man hieraus abnehmen, daß der Abgang an Sauerstoff immerhin ein sehr beträchtlicher seyn müsse, und daß daher bewundernswürdige Kräfte in der Natur wirksam seyn müssen, um diesen unentbehrlichen Stoff stets in vollem Maße wieder zu ersetzen, und dagegen die große Menge des schädlichen kohlensauren Gases abzuleiten und unschädlich zu machen. Wie dieses in der Natur bewirkt wird, ist mit einem Schleier umgeben, der von sterblicher Hand nicht aufgedeckt werden kann. Manche Naturforscher halten das Wasser für die Hauptquelle, aus der die Natur ihren Sauerstoff ziehe, und daß auch die Vegetation eine reichliche Sauerstoffquelle sey, indem Pflanzen bei Tage Kohlensäure aufnehmen und den Sauerstoff frei machen.

Gefiel es dem Schöpfer, die Quellen, woraus die Natur ihren Haushalt an Sauerstoff bestreitet, versiegen zu lassen, so müßten es die Geschöpfe bald mit ihrem Leben büßen. Schon eine geringe Abnahme, welche die Luft an Sauerstoff bei gewissen Witterungen, z. B. bei schwüler Gewitterluft, erleidet, macht das Athmen beschwerlich, den Körper träge und schwächt die Heiterkeit des Geistes. Daher es dem Menschen unwohl wird, und zarte Personen bald ohnmächtig werden, wenn sie eine Zeitlang in einem verschlossenen Raume sich befinden, wo viele Menschen beisammen sind. Die grausenvolle Geschichte der schwarzen Höhle im Fort Wilholm zu Calcutta liefert ein schreckliches Beispiel, wie nachtheilig der Abgang an Sauerstoff auf den Menschen wirkt. In diese berüchtigte Höhle, welche ein unterirdisches, 18 Fuß langes und 11 Fuß breites, nur mit zwei kleinen doppelt vergitterten Fenstern versehenes Gefängniß ist, wurden 1757 einhundert sechs und vierzig Engländer eingesperrt, von denen in einer Nacht 123 starben, und woran größtentheils Mangel an frischer Luft schuld war. Darum ist es eine wichtige Gesundheitsregel, täglich, selbst bei kalter Witterung, Wohn- und Schlafzimmer auszulüften, und Hospitäler, Gefängnisse und überhaupt alle geschlossene Räume, wo oft viele Menschen sich zusammen finden, durch schicklich eingerichtete Ventilatoren (Luftreiniger, Windrädchen) und andere Mittel in reiner Luft zu erhalten. Da die Blätter der Pflanzen am Tage, besonders im Sonnenschein, viel Sauerstoff in die Luft senden, so sind Spaziergänge im Grünen zu dieser Zeit der Gesundheit zuträglich. Besonders viel Sauerstoff spenden die Blätter fettiger Wasserpflanzen, die von der Sonne beschienen werden. Bricht man einige, worauf die Sonne liegt, ab, legt sie in eine Flasche, die mit reinem Wasser gefüllt ist, bindet eine lose Blase darüber, und stellt sie in die Sonne, so steigen allmählich Luftblasen auf, die in die Blase sich

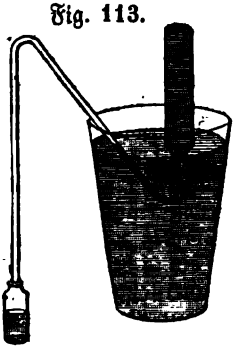
Digitized by Google

begeben, und die nach und nach aufschwellen. Durch Versuche kann man sich dann überzeugen, daß die aufgestiegenen Luftblasen Sauerstoffgas waren. Früchte und Blüthen hingegen ziehen den Sauerstoff an sich, besonders im Schatten, und nach dem Untergang der Sonne.

§ 133. (Gasarten.) Jedes Gas (§ 105) ist als eine Verbindung eines wägbaren Stoffes (Basis) mit Wärme zu betrachten. Schwere, Elastizität und Expansibilität haben alle Gase, jedoch nicht in gleichem Grade, so wie auch auf alle das Mariottische Gesetz (§ 118) bis zu einer bestimmten Gränze seine Anwendung findet. In Hinsicht ihres specifischen Gewichts sind die Gasarten bald schwerer, bald leichter, als die atmosphärische Luft, alle aber sind bei weitem leichter, als der leichteste tropfbare oder feste Körper. Ihre Verschiedenheiten unter sich beruhen auf den wägbaren Stoffen, die ihre Grundlage bilden. Bei weitem die meisten Gasarten sind irrespirabel oder mephitisch, d. i. untauglich zur Unterhaltung des Feuers, und schädlich zum Einathmen. Manche sind sehr leicht entzündbar, manche schwerer, andere gar nicht; manche lassen sich mit Wasser vermischen, manche thun dieß nicht. Viele Gasarten haben die Eigenschaften einer Säure, vielen andern fehlt diese Eigenschaft. Manche sind permanent elastisch, andere werden durch starken Druck tropfbar.

Zur Auffangung eines Gases aus irgend einem Körper bedient man sich der Gaswanne oder pneumatischen Wanne. Diese Wanne (Fig. 113), die sich von einer gewöhnlichen Badbütte hauptsächlich dadurch unterscheidet, daß sie mit einem Traggesimse versehen ist, in welchem Löcher mit nach unten gekehrten kleinen Trichtern sich befinden, wird so weit mit Wasser gefüllt, daß dieses ein wenig über das Gesimse zu stehen kommt. Eben so muß auch das Gefäß, worin das Gas aufgefangen werden soll, mit Wasser gefüllt werden. Die Flasche, aus der das Gas heraus soll, wird unter einen der Trichter geleitet, und oben darüber ist die gestürzt, die man zu füllen beabsichtigt. Das Wasser dringt in die Flasche unter dem Trichter ein, und treibt das Gas daraus fort. Dieses steigt durch den Trichter in die Flasche, die über dem Gesimse sitzt, drückt das Wasser aus der Flasche heraus, und füllt sie an. Für solche Gase, die sich leicht mit dem Wasser vermischen, bedient man sich viel kleinerer Wannen, die in der Regel von Marmor sind, und die mit Queckfilber gefüllt werden.

Fig. 113.



Die genauere Auseinandersetzung der verschiedenen Beschaffenheiten der Gasarten gehört jedoch, mit Einschluß der Art, wie sie gewonnen werden und dabei zu behandeln sind, in das Gebiet der Chemie. Einiges über einige der vornehmsten soll hier in etwas noch erörtert werden.

1. (Sauerstoffgas.) Sauerstoffgas (Oxygengas, reine Luft, Lebensluft, Feuerluft, ehemals dephlogistisirte Luft genannt) erhält man aus Metallkalken, die in einer luftdichten Retorte glühen, besonders aus gepulvertem Braunstein, aus rothem Queckfilberkalk, aus Salpeter, und aus allen Säuren, deren Dämpfe durch glühende irdene Röhren streichen. Die Verfahrungsart, die zu seiner Entbindung erforderlich ist, lernt sich nicht gut aus Beschreibungen, desto leichter aber durch das Zusehen und Handanlegen. Wenn der Versuch mit einem Metall-

Digitized by Google

kalk mit Vorsicht durchgeführt wird, und wohl gelingt, so dient er zugleich zur Belehrung über die Oxydation der Metalle. Wenn sich nämlich der Sauerstoff mit einem Metall, sey es nun auf trockenem oder nassem Wege, verbindet, so raubt er ihm die metallischen Eigenschaften. Das Metall verwandelt sich in einen erd- oder glasartigen Stoff, von mancherlei Farbe und Eigenschaft. Diesen Stoff nennt man das Metalloxyd (metallische Erde, Metallkalk). Braunstein, rother Queckſilberkalk, Eisenrost, Grünspan, die Asche von Blei und Zinn, Mennige, weißer Arsenik, Eisenmohr u. n. a. sind Metalloxyde, so wie überhaupt jedes Verbrennen gewöhnlich eine Oxydation, eine Sauerstoffverbindung ist. Wird das Oxyd glühend, so läßt es den Sauerstoff wieder fahren, und dadurch erhält es seine metallische Eigenschaft wieder. Man nennt dieses die Desoxydation, die Reducirung, die Wiederherstellung. Rother Queckſilberkalk (HgO; s. § 28. Anhang) wird wieder metallisches Queckſilber. Das reducirte Queckſilber nebst dem Sauerstoffgas, den man aus dem Kalk entbunden hat, wiegen dann zusammen so viel, als der angewandte Queckſilberkalk gewogen hat. 100 Gewichtstheile Queckſilberoxyd enthalten 7,3 dieser Gewichtstheile Sauerstoffgas und 92,7 Queckſilber, welches aus der in jenem Anhang mitgetheilten Tabelle sich ergibt, nämlich:

$$\overset{HgO}{1367} : 100 = \overset{O}{100} : x, \text{ also } x = 7{,}3.$$

Obgleich der Sauerstoff in Verbindung mit andern Körpern, wie z. B. mit der verbrannten Phosphormasse (§ 130), Säuren erzeugt, so ist doch das Sauerstoffgas völlig geschmack- und geruchlos; es hat auch keine Farbe, ist unsichtbar, durchsichtig, und permanent elastisch. Mit Wasser ist es nicht vermischbar, und sein specifisches Gewicht übersteigt das der atmosphärischen Luft um etwas mehr als ein Zehntel. Früher war man der Meinung, daß keine Säure ohne Sauerstoff möglich sey, jetzt kennt man aber viele Säuren, die keinen Sauerstoff enthalten.

Im reinen Sauerstoffgas geht der Verbrennungsproceß und die Oxydation der Metalle viel lebhafter und stärker vor sich, als in der atmosphärischen Luft. Was in dieser nur glüht, brennt im Sauerstoffgas mit lebhafter Flamme, und was in der atmosphärischen Luft mit Flamme brennt, gibt im Sauerstoffgas einen so hellen Glanz von sich, daß ihn das Auge nicht zu ertragen vermag. Stellt man den oben angeführten Versuch mit der Verbrennung des Phosphors (§ 130) in reinem Sauerstoffgas an, so brennt er so lange mit unbeschreiblichem Glanze fort, bis aller Sauerstoff im Recipienten rein aufgezehrt ist. Auch dauert die Verbrennung im reinen Sauerstoffgase 4 bis 5 mal so lange, als in einem gleich großen Raum von eingeschlossener atmosphärischer Luft. Mit den organischen Körpern verhält es sich aber anders. Pflanzen gedeihen in reiner Sauerstoffluft sehr schlecht, und das Athmen warmblütiger Thiere geht in Sauerstoffgas, das durch keine Beimischung von Stickgas gemildert ist, bei weitem nicht so lebhaft vor sich, als in der atmosphärischen Luft. Wie die Natur es darreicht, so nur kann das Verhältniß dem Organismus der Körper entsprechen, ein jedes andere Verhältniß kann ihn nur zerstören; er hat des Guten zu viel.

Zu den Versuchen mit reinem Sauerstoffgas, die sich schön ausnehmen und zugleich belehrend sind, gehören folgende:

1) Glimmende Körper (einen Docht, Span, ein Stück Papier, eine

Digitized by Google

Kohle, ein Stückchen Zunder u. s. w.), die man in eine Flasche voll reiner Sauerstoffluft hält, brechen sogleich in helle Flamme aus.

2) Schwefel, Phosphor und Kampfer brennen mit schöner Flamme und außerordentlichem Glanze. Bei diesen Versuchen, besonders bei der Verbrennung des Phosphors, wo große Hitze entsteht, muß man die Vorsicht gebrauchen, gewölbte Flaschen zu nehmen, weil andere leicht durch die Hitze entzweispringen. Man darf auch nur kleine Stückchen dieser Stoffe nehmen, und muß ein eisernes Löffelchen haben, welches die Dinge aufnehmen kann, um in die Flasche hinein gehalten zu werden.

3) Eine Stahlfeder, woran etwas brennender Zunder befestigt ist, schmilzt in reiner Sauerstoffluft sehr schnell, die Funken sprühen umher, und die geschmolzenen Stahlkügelchen fallen prasselnd zu Boden. Damit die Flasche von den glühenden Kügelchen nicht zersprengt werde, muß man dafür sorgen, daß bei ihrer Füllung mit dem Sauerstoffgas noch etwas Wasser darin bleibt. Statt der Stahlfeder kann man auch Eisendraht, kleine Klingen u. s. w. zu diesem Versuche nehmen.

4) Von zwei gleich großen und sonst auch völlig gleichen Wachskerzchen brennt das eine, das in reinem Sauerstoffgas sich befindet, nicht nur heller als das andere, das in einem gleich großen Raume eingeschlossener atmosphärischer Luft ist, sondern auch viel länger.

5) Einen Strom reinen Sauerstoffgases auf eine Lichtflamme geleitet, bringt eine so große Hitze hervor, daß selbst ein Diamant dadurch verflüchtiget wird.

Man hat auch das Einathmen reiner Sauerstoffluft für Engbrüstige und zur Wiedererweckung von Scheintodten angerathen. In letzterer Beziehung hat ein Arzt einen doppelten Blasebalg angegeben, welcher, indem er Sauerstoffgas in die Lunge des Scheintodten leitet, zugleich die verdorbene Luft, die darin ist, fortschafft.

II. (Stickstoffgas.) Stickstoffgas (Azotgas, Nitrogenium, Stickluft, Salpeterstoffgas: ehemals phlogistisirte Luft genannt) erhält man, wenn man einen Körper in einem gesperrten Raum atmosphärischer Luft verbrennt, wie bei dem Versuche mit dem Phosphor. Der Rückstand ist Stickstoffgas. Auch erhält man es durch Aufguß von Salpetersäure auf Fleisch. Am reinsten erhält man es, wenn man atmosphärische Luft mit aufgelöst'em Schwefel-Kalium schüttelt, wo dann das Kalium den Sauerstoff verzehrt, und Schwefel-Wasserstoffgas gebildet wird. Schüttelt man sodann dieses, nach Entfernung des Sauerstoffs, in Kalkwasser, so entfernt sich das Schwefel-Wasserstoffgas, und man erhält das reine Stickgas. Im reinen Zustand ist es geruch-, geschmack- und farbenlos und permanent elastisch. Vom Wasser wird es nur sehr wenig verschluckt, auch läßt es sich nicht entzünden; sein specifisches Gewicht ist etwas (ungefähr 0,03) kleiner als das der atmosphärischen Luft Von seinen dem Sauerstoffgas entgegengesetzten Eigenschaften ist bereits schon früher geredet worden (§ 130). Auch findet sich dieses Gas in den Schwimmblasen der Fische, in Zimmern, die frisch mit Oelfarben überstrichen worden sind, oder lang verschlossen waren, in Höhlen, in Kellern, die keinen Luftzug haben, in Brunnen, an Sümpfen, Kirchhöfen und überhaupt an allen Orten, wo organische Körper verwesen, und obgleich es mit der atmosphärischen Luft unausgesetzt ein- und ausgeathmet wird, so ist es doch erstickend, wenn es nicht mit Sauerstoff vermengt ist.

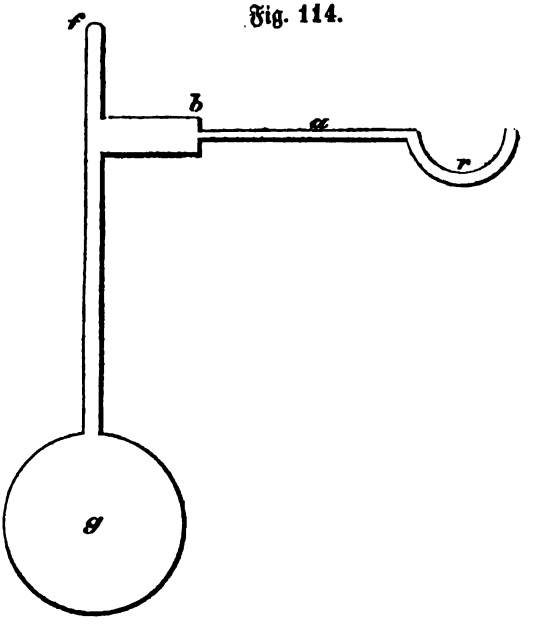
Bei'm Erhitzen des salpetersauren Ammoniaks erscheint das oxy-

Digitized by Google

dirte Stickgas (Stickoxydul), in welchem nach dem Mischungsgewicht 14 Theile Stickstoff auf 8 Theile Sauerstoff enthalten sind, oder 175 Stickstoff auf 100 Sauerstoff, d. i. NO. Dieses farbenlose Gas, das etwas mehr als um die Hälfte specifisch schwerer, als die atmosphärische Luft ist, hat einen süßlichen Geschmack. Bei'm Einathmen erzeugt es bei manchen Personen Erstickungszufälle, bei den meisten jedoch, wenn es nicht zu lange eingeathmet wird, wo es tödtlich werden kann, einen Zustand fröhlicher Trunkenheit, weßhalb man es Lust- oder Wonnegas nennt. Brennbare Körper, z. B. Phosphor, Schwefel, Kohle u. s. w. gehörig erhitzt, verbrennen in diesem Gas mit viel lebhafterm Lichte, als in der freien Luft, wo dann das Stickgas ausgeschieden wird. Ein Gemenge von Sauerstoffgas und Stickgas über Wasser, wo nach dem Mischungsgewicht 40 Theile Sauerstoff auf 8 Theile Stickstoff kommen, verwandelt sich, nach wiederholtem Durchschlagen elektrischer Funken in Salpetersäure. *)

III. (Wasserstoffgas.) Das Wasser ist kein Element; man kann es, wie Lavoisier und Cavendish zuerst gezeigt haben, in seine Bestandtheile zerlegen, wenn man folgenden Versuch anstellt. Ein metallenes Gefäß g (Fig. 114) wird mit Wasser, das man vorher destillirt, durch Kochen von

Fig. 114.




Luft möglichst befreit und dann genau gewägt hat, angefüllt. Mit dem Gefäße ist eine metallene Röhre verbunden, die oben bei f geschlossen, in deren Seitenröhre b eine blanke eiserne Röhre a festgemacht ist, und an

*) Schönbein hat einen neuen Stoff entdeckt, den er das Ozon nennt, weil er sich ihm zuerst durch den Geruch geoffenbart hat. Die von ihm hierüber angestellten merkwürdigen und schwierigen Versuche führten ihn zu der Behauptung, daß das Stickgas kein einfacher Stoff sey, sondern aus Ozon und Wasserstoff bestehe.

Digitized by Google

deren Mündung eine gekrümmte Röhre r sich befindet. Alle diese Röhren müssen vollkommen luftdicht in einander passen. In die Röhre a wird ein Eisendraht, der aber nicht geröstet seyn darf, gesteckt, und vorher ebenfalls genau gewägt. Die Mündung der Röhre r befindet sich unter Wasser. Durch eine besonders dazu eingerichtete Vorrichtung wird die Röhre a bis zum Glühen erhitzt, und das Wasser in g zum Kochen gebracht. Die Wasserdämpfe steigen in die Röhre f, gehen über den glühenden Wasserdraht in a, und kommen durch die Röhre r in das Wasser, aus dem sie aber nicht als Dämpfe, sondern in Luftblasen aufsteigen. Diese Luftblasen haben die merkwürdige Eigenschaft sich durch einen brennenden Fidibus entzünden zu lassen, wo sie dann mit einem leichten Knalle verpuffen. Wenn das Wasser in g weggekocht ist, und keine Luftblasen mehr zum Vorschein kommen, ist der Versuch zu Ende. Alsdann zeigt sich der Eisendraht in a völlig oxydirt. In diesem Zustande wiegt er mehr, als vor dem Versuche. Hat man die Vorsicht gebraucht, die gekrümmte Röhre r unter einen Trichter der pneumatischen Wanne zu leiten, die Luftblasen aufzufangen und zu sammeln, so findet sich jetzt, daß die Gewichtszunahme des Eisendrahts nnd das Gewicht der Luftblasen zusammen so groß ist, als das Gewicht des Wassers in dem Gefäße war. Aus diesem Versuche zog man den Schluß, daß der Wasserdampf, der über glühenden Eisendraht streicht, in zwei Bestandtheile zerlegt werde. Der eine Bestandtheil ist der Sauerstoff; dieser verbindet sich mit dem Eisen und oxydirt es. Der andere Bestandtheil ist der eigentliche Wasserstoff; dieser bildet, mit Wärme verbunden, die entzündlichen Luftblasen. Das Wasser ist demnach aus Sauerstoff (Oxygen) und Wasserstoff (Hydrogen) zusammengesetzt. Dem aus dem Wasserstoff entbundenen Gas gab man den Namen Wasserstoffgas, Hydrogengas, brenn- oder entzündbare oder inflamable Luft. Auch durch folgenden Versuch kann man aus Wasser Wasserstoffgas erzeugen: Nachdem man die im Wasser enthaltene Luft durch Kochen weggeschafft hat, und es wieder kalt geworden ist, füllt man damit eine Schüssel, wie auch ein kleines Gläschen an. Dieses verschließt man mit dem Finger, und öffnet es unter dem Wasser. Nun bringt man schnell ein Stückchen Natriummetall, das man an einen Draht fest angedrückt hat, unter die Mündung des Gläschens. Das Metall wird sich vom Drahte ablösen und in das Gläschen steigen, weil es specifisch leichter als Wasser ist. Da das Natrium eine sehr große Verwandtschaft zum Sauerstoff hat, so verbindet es sich mit diesem zu Natriumoxyd, und macht den Wasserstoff frei. Nachdem man hierauf das Gläschen mit dem Finger geschlossen aus der Schüssel genommen und an seine Mündung eine Flamme hält, so entzündet sich hier das ausströmende Wasserstoffgas.

Ganz dasselbe Gas erhält man, in weit größerer Menge noch, wenn man Eisenfeile und Zink in verdünnter Schwefelsäure (Vitriolöl) oder Salzsäure auflöst, wo denn das in der Säure enthaltene Wasser seinen Sauerstoff an das Metall abgibt, es oxydirt und der Wasserstoff frei wird.

Nach der Proportion $112\frac{1}{2} : 100 = \overset{HO}{100} : \overset{H}{x}$ (§ 28. Anhang) enthalten 100 Gran Wasser 89 Gran Sauer- und 11 Gran Wasserstoff, d. i. 8mal so viel Sauerstoff, aber dem Maß oder dem Volumen nach nur 1 Volumen Sauerstoffgas und 2 Volumen Wasserstoffgas, da das Aequivalent von diesem Gas einen sehr nahe doppelten Raum einnimmt als das Sauerstoffäquivalent.

Digitized by Google

Obgleich nun das Wasser eines der wohlthätigsten Naturproducte und dem thierischen wie dem vegetabilischen Leben ganz unentbehrlich ist, so gehört doch das Wasserstoffgas zu den mephitischen Luftarten, d. h. zu denen, in welchen kein Feuer brennen, kein warmblütiges Thier athmen kann. Es ist farb- und geschmacklos, hat aber oft einen eigenen, höchst unangenehmen Geruch, obgleich es auch bei gewissen Entbindungsarten geruchlos seyn kann. Mit Wasser ist es nicht vermischbar, und dem specifischen Gewicht nach ist es der leichteste materielle Körper, den wir kennen. In ganz reinem Zustand ist sein specifisches Gewicht gegen atmosphärische Luft wie 0,068 zu 1, daher es 14,7mal specifisch leichter als diese und 11319mal specifisch leichter als Wasser ist, so daß hiernach 1 Pariser Kubikfuß dieses Stoffes etwa nur 0,2 preußische oder Frankfurter Loth wiegt (§ 126). Auch ist dieses Gas in allen thierischen und vegatibilischen Körpern enthalten, und nur in Gasgestalt bekannt.

Für sich selbst untauglich, den Verbrennungsproceß zu unterhalten, entzündet es sich doch an der Stelle, wo es mit der atmosphärischen Luft in Berührung ist, woher es auch den Namen brennbares Gas erhalten hat.

Mischt man ein Volumen reines Sauerstoffgas, oder fünf Volumen atmosphärische Luft mit zwei Volumen Wasserstoffgas, so entsteht, wenn diese Mischung entzündet wird, ein heftiger Knall, weßhalb man auch dieser vermischten Luft den Namen Knallluft gegeben hat. Da das Wasserstoffgas so außerordentlich leicht ist, so müßte es, nach hydrostatischen Gesetzen, oben, das Sauerstoffgas oder die atmosphärische Luft unten stehen. So ist es aber nicht, sondern jedes Lufttheilchen enthält beide Luftarten in sich. Hieraus ist klar, daß beide Luftarten sich einander durchdrungen haben, wie wenn man Wasser mit Wein mischt. Mischt man eine Knallluft aus reinem Sauerstoffgas und Wasserstoffgas in dem angegebenen Verhältniß, füllt damit etwa den fünften Theil einer Gaskugel an, in welcher die Mischung vollkommen gesperrt werden kann, und läßt dann einen elektrischen Funken durchschlagen, so entzündet sich die eingeschlossene Knallluft und verschwindet, und Wasser ist dafür entstanden. Ein einmaliger Versuch reicht freilich nicht hin, die entstandene, sehr geringe Wassermasse wahrnehmen zu können, allein durch öftere Wiederholung dieses Versuches läßt sich so viel Wasser erzeugen, als nothwendig ist, um sich von dem Erfolg zu überführen.

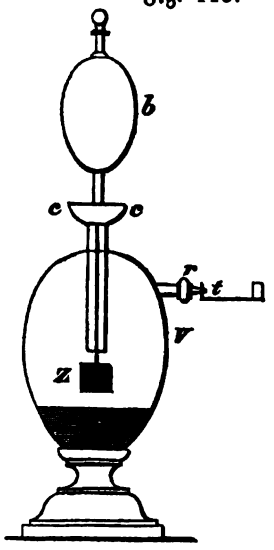
Dieser merkwürdige Versuch, wozu es eigne bequeme Geräthschaften gibt, zeigt augenscheinlich, daß das Wasser, welches man von jeher als ein Element ansah, aus zwei Stoffen, die sowohl unter sich, als gegen das Wasser ganz verschiedene Eigenschaften besitzen, zusammengesetzt ist. Was diesen Versuch noch interessanter macht, ist, daß das Gewicht der beiden Gasarten, das der Knallluft und endlich das des entstandenen Wassers durchaus dasselbe bleibt, wenn der Apparat so ist, daß man dieses Gewicht jedesmal auf das Pünktlichste zu bestimmen vermag. Jetzt kennt man noch andere Mittel um Wasser aus seinen beiden in gehörigem Verhältniß vereinigten Bestandtheilen zu erzeugen, und solches in reichlicherm Maße zu erhalten.

Füllt man eine Thierblase, die man durch Zusammendrücken von atmosphärischer Luft befreit hat, mit Knallluft von der angegebenen Mischung, und läßt diese durch ein an der Blase befestigtes Röhrchen in Seifenwasser ein, so bilden sich mit Knallluft gefüllte Seifenblasen. Steckt

Digitized by Google

man dieſe durch einen brennenden Fidibus an, ſo zerplatzen ſie unter ſehr heftigem Knalle. Vorſicht, die bei phyſikaliſchen Verſuchen, beſonders aber bei Verſuchen mit Gasarten, nicht aus der Acht gelaſſen werden darf, iſt hierbei, um ſich und Andern nicht zu ſchaden, ſehr zu empfehlen. Das Röhrchen an der Blaſe muß mit einem Hahne verſehen ſeyn, damit nicht mehr Knallluft herausdringen kann, als zur Bildung einiger Blaſen erforderlich iſt. Auch muß die Blaſe mit Knallluft immer erſt bei Seite gelegt werden, ehe man die Seifenblaſen entzündet. Füllt man die Seifenblaſen bloß mit Waſſerſtoffgas, ſo laſſen auch dieſe ſich entzünden, zerplatzen aber ohne Knall. Dabei muß man ſchnell ſeyn, weil die Blaſen, wegen der großen Leichtigkeit dieſes Gaſes gern davon fliegen. Steckt man eine mit Waſſerſtoffgas gefüllte Flaſche an ihrer Mündung an, ſo erliſcht zwar das Licht, weil dieſes Gas das Brennen hindert, allein das Gas ſelbſt brennt, ſo lange es mit der äußern Luft in Berührung iſt, in der Flaſche fort, und weil es mit Waſſer nicht vermiſchbar iſt, ſo kann man durch die Flamme behutſam Waſſer in die Flaſche gießen, ohne daß dieſe davon erliſcht. Platinaſche, in welcher das Platin äußerſt fein zertheilt und porös iſt, und das man in dieſem Zuſtand Platinſchwamm oder oxyphores Platin nennt, dient zur Verbindung mancher Luftarten, die ſich ſonſt nicht mit einander vereinigen würden, und hat die Eigenſchaft in Waſſerſtoff glühend zu werden, und dieſes zu entzünden. Hierauf beruhet ſeine Anwendung bei der gegenwärtig ſo allgemein bekannten Döbereiner'ſchen Zündmaſchine, die man jetzt in allerlei Geſtalten zu ſehen bekommt. Dieſe Maſchine beſteht etwa aus einem obern Ballon b und einem größern unterm v (Fig. 115), die beide in cc luftdicht mit einander verbunden ſind. In v befindet ſich Waſſer mit Schwefelſäure, in welches aus b ein Zinkcylinder z hinein reicht. Hierdurch entwickelt ſich in v Waſſerſtoffgas, deſſen Druck die Flüſſigkeit aus v in b treibt, ſo lange der Zink mit ihr in Berührung iſt. Oeffnet man nun den Hahn r, ſo ſtrömt das Gas aus der feinen Spitze t auf den dort befindlichen Platinſchwamm, und entzündet ſich; an die Stelle des entwichenen Gaſes tritt nun aus b die Flüſſigkeit wieder an den Zink, wodurch wieder neues Waſſerſtoffgas erzeugt wird.

Fig. 115.




Außer mit dem Sauerſtoffe geht der Waſſerſtoff auch noch in viele andere Verbindungen ein, daher es noch vielerlei Arten von Waſſerſtoffgas gibt, von denen zwar jedes beſondere Eigenſchaften und ein eigenes ſpecifiſches Gewicht hat, die aber alle mephitiſch und von ſehr widrigem Geruche ſind. Mit Schwefel verbunden, heißt es Schwefel-Waſſerſtoffgas; mit Phosphor, Phosphor-Waſſerſtoffgas u. ſ. w. Letzteres hat die Eigenſchaft, ſich von ſelbſt zu entzünden, ſobald es mit der freien Luft in Berührung kommt, und findet ſich auf Plätzen, wo thieriſche Körper verweſen. Wahrſcheinlich entſtehen daher die Irrlichter.

Digitized by Google

IV. (Kohlensaures Gas.) **Kohlensaures Gas** (fixe Luft, Luftsäure) erhält man, wenn man auf gepulverte Kalkerde (Marmor, Muscheln, Kreide, Kalkspath, gemeinen Kalkstein u. s. w.) irgend eine Säure, am besten verdünnte Schwefelsäure, gießt; dem Gewichte nach enthält es 6 Theile Kohlenstoff auf 16 Theile Sauerstoff ($CO^2$. § 28. Anhang); 6 Theile Kohlenstoff mit 8 Theilen Sauerstoff (CO.) geben das Kohlenoxydgas. Dieses brennt mit blauer Flamme, und verwandelt sich dabei in Kohlensäure, welche sich nicht entzünden läßt. Die blauen Flämmchen über glühenden Kohlen sind Kohlenoxydgas. Den Namen Kohlensäure hat sie dadurch erhalten, daß man entdeckt hat, daß sie durch Verbrennung der Holzkohle oder irgend einer andern Kohle in freier Luft oder reinem Sauerstoffgas erzeugt wird, und daß sie die Eigenschaften einer Säure, z. B. blaue Pflanzensäfte roth zu färben, besitzt. Am reinsten findet sich der Kohlenstoff (Carbonium) im Diamanten; in den Pflanzen kommt er mit Sauerstoff und Wasserstoff, in den Thieren mit Stickstoff verbunden vor. Das kohlensaure Gas ist farbenlos, in kleinen Portionen von angenehmem Geruch und hat einen säuerlichen Geschmack. Feuer kann in ihm nicht brennen und warmblütige Thiere können darin nicht leben. Darum ist Kohlendunst sehr schädlich, in vielen Fällen tödtlich. In manchen Gegenden, besonders in der Nähe von Vulkanen und mineralischen Quellen, steigt es oft in großer Menge aus der Erde hervor. Da es mehr als um die Hälfte specifisch schwerer als die atmosphärische Luft ist, sich auch nicht stark mit dieser mischt, so bleibt es, aus der Erde hervorquillend, an der Oberfläche sitzen, und erstreckt sich nur auf mehrere Fuß Höhe. Kommen Thiere in diese Schichte, so sterben sie, Lichter erlöschen darin auf der Stelle. Beispiele hierzu liefert die Dunsthöhle zu Pyrmont, die Hundsgrotte zu Neapel u. a. m.

Weil das kohlensaure Gas so bedeutend schwerer als die atmosphärische Luft ist, so kann man es frei aus einem Glase in ein anderes gießen, oder über ein Licht schütten, das dann davon erlischt, oder über ein kleines Thier, z. B. eine Maus, das dann davon stirbt, obschon das Glas anscheinlich leer ist. Mit dem Wasser läßt es sich durch Schütteln vermischen, und ertheilt ihm einen säuerlichen und erquickenden Geschmack, daher es ein Hauptbestandtheil aller Sauerbrunnen ist, und auch dazu dient künstliches Sauerwasser, das aber freilich dem natürlichen an Kraft nie gleich kommt, aus gemeinem Wasser zu bereiten. Kalkwasser, d. h. die Auflösung des gebrannten Kalks oder der reinen Kalkerde in Wasser, wird von der Kohlensäure und dem kohlensauren Gas getrübt. Gießt man etwas von einer Flüssigkeit in Kalkwasser und wird dieses davon trübe, so kann man daraus abnehmen, daß Kohlensäure in der Flüssigkeit enthalten ist. Hieraus hat Herr v. Humboldt ein Instrument, das er Anthracometer nennt, abgeleitet, und das dazu dient, den kohlensauren Gehalt der atmosphärischen Luft zu bestimmen.

An Orten, wo Gährungen vor sich gehen, besonders in Kellern, wo Wein und Bier gährt, entwickelt sich kohlensaures Gas in großer Menge. Daher es nicht gesund ist, an solchen Orten lange zu verweilen, noch viel weniger zu schlafen, wenn es einem nicht um den ewigen Schlaf zu thun ist. Schon Mancher hat auf diese Art sein Leben eingebüßt. Die Kohlensäure widersteht der Fäulniß und unterdrückt sie, wenn sie eben erst angefangen hat. Fleisch, das in einem Gefäß mit kohlensaurem Gas hängt, kann lange frisch erhalten und sogar bei angefangener Fäulniß wieder schmackhaft gemacht werden. Auf langen Seereisen dienen daher Fässer,

Digitized by Google

die inwendig verkohlt sind, zur Aufbewahrung von Fleisch und Wasser; Stahlwaaren, in Kohlenpulver verpackt, rosten nicht, und verkohltes Holz fault nicht. In Faulfiebern, Scorbuten und Geschwüren leistet deßhalb kohlensaures Gas, mit Wasser verbunden, dem Magen gute Dienste, der Lunge ist es aber schädlich. Uebelriechende oder mit Krankheitsstoffen geschwängerte Luft kann durch Kohlensäure gereinigt, gefärbte Salzauflösungen durch sie entfärbt, und Getreidebranntwein entfuselt werden.

An Orten, wo kein Luftzug stattfindet, sammelt sich, wenn sie lange verschlossen bleiben, mancherlei mephitische Luft, auch kohlensaures Gas an. In Bergwerken sind sie unter dem Namen *erstickender Schwaden* bekannt. Menschen, die ohne Bedenken und ohne Vorsicht an solche Plätze, z. B. in Gruben, Brunnen, sich begaben, fanden oft, kaum hineingetreten, auch schon ihren Tod. Noch fürchterlicher ist die Wirkung des *Kohlenwasserstoffgases*, wo es in bedeutender Menge vorhanden ist. Dieses Gas, welches überall, wo organische Körper brennen, daher schon durch jedes Kerzen-, Oel- und Weingeistlicht, entbunden wird, entsteht durch die Verbindung von 2 Gewichtstheilen Wasserstoff mit 6 Gewichtstheilen Kohlenstoff, und ist sehr leicht entzündbar. Hierher gehört die Luftart, die durch die Fäulniß organischer Körper, bei der Destillation von Steinkohlen und organischen Stoffen erzeugt wird, so wird die sogenannte *Sumpfluft*, die in Sümpfen und stehenden Wassern, besonders bei warmer Witterung, sich bildet. In den Steinkohlengruben, wo das Kohlenwasserstoffgas, mit atmosphärischer Luft vermischt, unter dem Namen das *böse* oder *schlagende Wetter* sehr häufig vorkommt, hat es durch plötzliche Entzündung, sobald ein Arbeiter mit seinem Lichte ihm zu nahe kam, schon oft entsetzliches Unheil angerichtet. Die Bemerkung, daß sich dieses Gas nicht entzünden kann, wenn das Licht, mit dem man sich ihm nähert, von einem feinen Netz aus Metalldraht, dessen Löcher sehr eng sind, umgeben ist, kann daher als eine der größten Wohlthaten für die armen und fleißigen Grubenarbeiter betrachtet werden. Man verdankt sie dem berühmten Chemiker *Davy*. Durch eine Sicherheitslampe, die er darauf erfand, und die nachher von *Chevremont* in Mons noch verbessert ward, ist das Leben dieser Menschen von dieser Seite her keiner Gefahr mehr ausgesetzt. Die *Lampe ohne Flamme*, wo durch glühenden Platindraht nicht nur Naphtha und Alkohol, sondern überhaupt brennbare Gase flammenlos verbrennen, ist ebenfalls als eine Sicherheitslampe zu betrachten.

Eine andere Art von Kohlenwasserstoffgas, wo ein Gewichtstheil Wasserstoff mit 6 Gewichtstheilen Kohlenstoff verbunden ist, wird *ölerzeugendes Gas* genannt. Die dünne und bläuliche Flamme des Kohlenwasserstoffgases geht bei dem ölerzeugenden Gas in eine sehr weiße, helle und stark leuchtende Flamme über, und sowohl hierdurch, als durch das specifische Gewicht und die Menge des Sauerstoffes, die bei der Verbrennung erforderlich ist, sind beide Gasarten von einander verschieden. Das ölerzeugende Gas wird in großer Menge aus Steinkohlen, auch Harz, entbunden, und dieses Gas ist es, das man zur Gasbeleuchtung anwendet, indem man dem Apparat hierzu eine solche Einrichtung geben kann, daß das kohlensaure Gas, das Kohlenoxydgas, das Schwefelwasserstoffgas und die sich verflüchtigenden, sehr widrig riechenden Theertheile, die mit dem ölerzeugenden Gas aus den Steinkohlen sich entwickeln, niedergeschlagen und abgeleitet werden.



Digitized by Google

In der neuesten Zeit sind noch andere Gasarten entdeckt worden, die sich ebenfalls zur Beleuchtung anwenden lassen. Zu diesen gehört außer dem sogenannten Wassergas, dessen Gewinnung durch Wohlfeilheit sich empfehlen soll, und dem Luftgas (air light), auch das Drummond'sche Licht, die Sternenflamme, Siderallicht genannt. Dieses Gas, mit welchem Gaudin 1836 die ersten Versuche im Großen anstellte, gibt eine blendend weiße Flamme, die 150 mal mehr Helligkeit als das gewöhnliche Gaslicht haben soll, und kann aus vielen brennbaren Flüssigkeiten, am wohlfeilsten aus Terpentinöl, gewonnen werden.

Nachträglich verdienen hier noch eine kurze Erwähnung:

1. Das Salpetergas. Man erhält es, wenn man verdünnte Salpetersäure auf Zinn, Queckfilber oder Kupfer gießt. Es ist mephitisch und schwerer als die atmosphärische Luft, ist mit Wasser nicht vermischbar, widersteht der Fäulniß, und zieht den Sauerstoff an. Mit diesem verbunden, bildet es orangefarbene Dämpfe, die mit dem Wasser vermischbar sind.

2. Die Schwefelleberluft. Man erhält sie aus Schwefelleber durch verdünnte Salz- oder Schwefelsäure. Sie ist mephitisch, von widrigem Geruch, mit Wasser vermischbar, und macht einen Bestandtheil der Schwefelbäder aus.

3. Das flußspathsaure Gas. Man erhält es aus gepulvertem Flußspath mit verdünnter Schwefelsäure. Es ist dreimal schwerer als die atmosphärische Luft. Bei der Berührung der atmosphärischen Luft wird es zersetzt, und bildet dann einen weißlichen Nebel. Wenn man eine Glasplatte über flußspathsaures Gas hält, so wird sie matt und rauh, da dieses Gas die Kieselerde des Glases auflöst. Daher man sich der Flußspathsäure (flußspathsaures Gas mit Wasser vermischt) bedient, um in Glas zu ätzen.

4. Das oxygenirte salzsaure Gas. Man erhält es, wenn man verdünnte Salzsäure über Braunstein abzieht. Dieses Gas besteht aus einem gelblichen Dampf, der den Augen und Lungen sehr schädlich ist. Alle Metalle werden davon aufgelöst und alle Farben durch dieses Gas zerstört. Mit Wasser vermischt, kann man äußerst schnell damit bleichen. Gewöhnliche Dintenschrift löscht es ganz aus.

§ 134. (Eudiometrie.) Nur das Sauerstoffgas, das in der atmosphärischen Luft enthalten ist, kann den Verbrennungsproceß und das Athemholen unterhalten. Die Güte einer Luftmasse hängt demnach von der Menge des Sauerstoffes ab, den sie enthält, und die Kunst, diese Menge auszumitteln, wird Eudiometrie genannt. Um eine solche Luftgüteprüfung vorzunehmen, läßt man auf die zu prüfende Masse atmosphärischer Luft eine Substanz einwirken, welche die Eigenschaft hat, das Sauerstoffgas derselben zu verzehren, und das Stickgas zurückzulassen. Man pflegt diese Substanzen eudiometrische Substanzen zu nennen, und dem Werkzeug hierzu gibt man den Namen Eudiometer. Wasserstoffgas, Salpetergas, Phosphor, Eisenauflösung mit Salpetergas, Schwefelkali in Wasser aufgelöst u. a. m. sind eudiometrische Substanzen. Ein Eudiometer mit Wasserstoffgas erfordert eine Vorrichtung, um die Mischung, wovon bei der Wassererzeugung durch Knallluft die Rede war, durch den elektrischen Funken zu entzünden. Die andern Eudiometer bestehen aus Röhren mit einer Skale, worin man das zurückgebliebene Stickstoffgas messen kann. Bei dem Phosphor-Eudiometer wird die Röhre mit einer bestimm-

Digitized by Google

ten Menge der zu prüfenden Luft gefüllt, ein Phosphorstängelchen hindurch gesteckt und das untere Ende durch Wasser gesperrt. Wenn keine Phosphordämpfe sich mehr bilden, so kann man durch die Skale den Abgang des Sauerstoffs bestimmen, der aber, weil das zurückgebliebene Stickgas etwas Phosphordämpfe in sich aufgelöst enthält, daher etwa $^1/_{40}$ mehr Volumen hat, um $^1/_{40}$ zu klein ausfällt, folglich um so viel vergrößert werden muß.

§ 135. (Specifisches Gewicht der Gasarten.) Ganz so, wie man das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft durch unmittelbare Abwägung bestimmen kann (§ 126), läßt sich auch das specifische Gewicht jeder Gasart bestimmen, wenn man sie in die luftleer gepumpte Kugel einläßt. Dergleichen Abwägungen, die ungemeine Sorgfalt erfordern, wenn die Resultate Zuverlässigkeit haben sollen, sind auch wirklich angestellt worden, und aus ihnen hat sich ergeben, daß das specifische Gewicht der Gasarten, bei einerlei Barometerstand und in gleichem Wärmegrad, in Beziehung auf die atmosphärische Luft folgendes Verhältniß habe.

Setzt man nämlich das Gewicht von irgend einem Volumen atmosphärischer Luft = 1, so wiegt ein eben solches Volumen:

Sauerstoffgas 1,103; Stickgas 0,976; kohlensaures Gas 1,526; Wasserstoffgas 0,0688. Hat man das Gewicht eines Kubikzolles oder Kubikfußes atmosphärischer Luft einmal bestimmt (§ 126), so kann man mit Hülfe dieser Tabelle das Gewicht eines eben solchen Kubikzolles oder Kubikfußes der angegebenen Gasarten, für gleichen Barometerstand und Wärmegrad, leicht berechnen. Daß Gase und Dämpfe durch Thierblasen dringen und Wasserstoffgas durch Glocken mit feinen Rissen entweicht, war bereits bekannt, als man auch wahrnahm, daß Gase nicht, wie tropfbare Körper, nach ihrem specifischen Gewicht sich über einander schichten, sondern daß sie sich gleichförmig unter einander verbreiten und mit einander mengen (§ 118), wie ja auch schon in der atmosphärischen Luft das schwerere Sauerstoffgas allenthalben gleichförmig mit dem leichtern Stickgas gemengt ist (§ 130). Diese wechselseitige Austauschung der Gase, die jedoch am schnellsten durch poröse Körper erfolgt, nennt man die Diffussion, die manche Aehnlichkeit mit der Endosmose hat (§ 28; 7). Durch viele, besonders von Graham angestellte Diffussionsversuche hat sich ergeben, daß jedes Gas durch enge, namentlich poröse Kanäle zu einem andern eben so eingeschlossenen Gas um so rascher überströmt und sich mit ihm vermengt, je leichter es gegen das andere ist, daß aber die voluminösen Mengen, in welchen der Austausch erfolgt, sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus ihren specifischen Gewichten verhalten. So fand Graham, daß von 3,87 Volumen Wasserstoffgas, das er in seinem Apparat eingeschlossen hatte, nach und nach so viel entwich, daß, nach erfolgtem Stillstand, nur ein Volumen übrig, und dieses nur noch atmosphärische Luft war. Nun ist das specifische Gewicht dieser Luft = 1, daher auch die Quadratwurzel = 1; das specifische Gewicht des Wasserstoffgases = 0,0688, die Quadratwurzel daraus = 0,2623. Nach dem angegebenen Gesetze ist nun das umgekehrte Verhältniß dieser Wurzeln, das des ganzen Luftvolumens zum ganzen ursprünglichen Volumen des Wasserstoffgases, d. i.

0,2623 : 1 = 1 : x, wo dann x = 3,81 ... daher sehr nahe dem ursprünglichen Volumen des Wasserstoffgases.

§ 136. (Specifische Expansivkraft der Luftarten.) Jede Luftart besitzt, wie die atmosphärische Luft, Expansivkraft, vermöge welcher sie einen Druck leisten



Digitized by Google

und Bewegung hervorbringen kann. Diese Expansivkraft, in so fern sie auf eine einzelne Luftmasse bezogen wird, nennt man die absolute Expansivkraft oder absolute Elastizität. Vergleicht man aber die absoluten Expansivkräfte zweier Luftmassen mit einander, und es findet sich, daß jede eine ihr eigenthümliche Expansivkraft besitzt, obgleich sie einerlei Dichtigkeit haben und unter demselben Wärmegrade sich befinden, so nennt man dieses die specifische Expansivkraft oder die specifische Elastizität dieser Luftarten. Wenn demnach eine gleiche Masse zweier verschiedenen Luftarten einerlei Wärmegrad hat, aber verschiedene Dichtigkeit besitzt, so müssen ihre specifischen Expansivkräfte sich umgekehrt wie ihre Dichtigkeiten verhalten, so, daß die dünnere Luftart eine so vielmal größere Expansivkraft hat, so vielmal sie dünner als die dichtere Luftart ist. Die Richtigkeit dieser Behauptung ist nicht schwer einzusehen, wenn man den Begriff von specifischer Expansivkraft vor Augen behält, und hieraus den Schluß zieht, daß die specifischen Expansivkräfte mit den absoluten einerlei Verhältniß haben müssen, wenn die Luftmassen, deren specifische Expansivkraft untersucht wird, an Dichtigkeit und Wärmegrad gleich sind. Hätte man nun zwei Blasen, von denen jede mit atmosphärischer Luft von gleicher Dichtigkeit und gleichem Wärmegrad gefüllt wäre, so müßte die specifische Expansivkraft beider Luftmassen der absoluten offenbar gleich seyn. Wäre aber die eine Blase mit Sauerstoffgas, die andere mit Wasserstoffgas so weit gefüllt, daß jede gerade dem Druck der äußern Luft das Gleichgewicht hielte, so hätten zwar beide Luftarten eine gleiche absolute Expansivkraft, allein ihre specifische würde erst dann gleich seyn, wenn das Wasserstoffgas so dicht als das Sauerstoffgas würde. Gesetzt, jenes müßte in diesem Falle fünfzehnmal dichter werden, so würde es aber auch eine fünfzehnmal größere absolute Expansivkraft erlangen. Die specifische Expansivkraft beider Luftarten ist demnach im umgekehrten Verhältniß ihrer Dichtigkeit, da das dünnere Wasserstoffgas mit dem dichtern Sauerstoffgas eine gleiche absolute Expansivkraft behauptet, ohne seine Dichtigkeit erst bis zu der Dichtigkeit des Sauerstoffgases vergrößern zu dürfen.

Da nun die Dichtigkeit das Verhältniß der specifischen Gewichte ist, so müssen die specifischen Expansivkräfte zweier Luftarten sich umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte verhalten.

Setzt man die specifische Expansivkraft der atmosphärischen Luft bei einem gewissen Wärmegrad = 1, so ist für denselben Wärmegrad die specifische Expansivkraft:

von Sauerstoffgas $= \frac{1}{1{,}103} = 0{,}906$

„ Stickgas $= \frac{1}{0{,}976} = 1{,}025$

„ kohlens. Gas $= \frac{1}{1{,}526} = 0{,}655$

„ Wasserstoffgas $= \frac{1}{0{,}0688} = 14{,}53488$

Das Wasserstoffgas hat demnach eine mehr als $14\frac{1}{2}$ mal größere specifische Expansivkraft als die atmosphärische Luft.

§ 137. (Luftballon.) Ein Luftball (Aerostat) ist ein kugelicher oder birnförmiger Körper, der für sich allein, oder auch mit Lasten beschwert,

Digitized by Google

von selbst in die Luft aufsteigt. Soll dieses möglich seyn, so muß der Aërostat sammt seinen Lasten ein geringeres Gewicht haben, als eine Luftmasse von demselben Volumen (§ 101). Ein Körper, der aus einem an sich schon leichten Stoffe besteht und luftdicht ist, kann daher zum Steigen gebracht werden, wenn man die in ihm enthaltene Luft durch Hitze hinlänglich verdünnt, oder ihn mit dem so leichten Wasserstoffgas anfüllt. Da die Dichtigkeit der Luft je höher je geringer wird, so läßt sich gleich einsehen, daß ein Aërostat nur so lange steigen kann, so lange sein specifisches Gewicht kleiner als das der Luftschichte ist, in der er sich befindet, daß also das Steigen in allen Fällen auf eine gewisse Gränze beschränkt seyn muß.

Von jeher hat es Menschen gegeben, die sich durch eigentliche Flügel in die Luft zu erheben gesucht haben, allein die Erfindung wollte nie glücken. Nachdem man aber nähere Kenntniß von den mechanischen Eigenschaften der Luft und von dem leichten brennbaren Gas erlangt hatte, gerieth man auf den Gedanken Aërostaten steigen zu lassen. Schon im Jahr 1777 hatte Doctor Black in Edinburgh die erste Idee zu einem Aërostat mit brennbarer Luft, nachdem Cavendish entdeckt hatte, daß diese Luft eine so große Leichtigkeit besitze, allein Versuche wurden hierüber nicht von ihm angestellt. Erst im Jahr 1782 kam man wieder auf diese Idee zurück, konnte aber vorerst nur Seifenblasen zum Steigen bringen. Mit festen Körpern, die bald zu schwer, bald nicht luftdicht genug waren, wollte der Versuch nicht gelingen, bis endlich Cavallo, ein geborner Schweizer, der in London wohnte, auf den Gedanken kam, Körper aus Goldschlägerhäutchen zu dem Versuch zu nehmen. Von solchen Häutchen, die von dem Mastdarm der Ochsen abgezogen, auf besondere Art zubereitet und zum Dünnschlagen des Goldes gebraucht werden, macht man auch jetzt die kleinen Ballons, die man zu geringen Versuchen benutzt. Mit brennbarer Luft gefüllt, steigen sie, wenn das Häutchen durchaus ohne Ritze ist, schnell in die Höhe. Ehe aber Cavallo diesen Gedanken zur Ausführung brachte, hatten bereits Andere die erste Erfindung gemacht, und im Großen zur Ausführung gebracht. Zwei Brüder, Joseph und Stephan Montgolfier, Papierfabrikanten zu Annonay im südlichen Frankreich, hatten ebenfalls, aus Liebhaberei für Mathematik und Physik, schon manchen mißlungenen Versuch wegen Erfindung eines Aërostaten gemacht, und verfielen zuletzt auf die Anwendung der verdünnten Luft durch Hitze. Nach einigen vorläufigen Versuchen, die zu ihrer Zufriedenheit ausfielen, verfertigten sie einen Ballon von Leinwand, der mit Papier gefüttert war, und einen Durchmesser von 35 Fuß hatte. Der Ballon hatte demnach einen Aequator von beinahe 110 Fuß im Umfange, seine Oberfläche betrug an 3850 Quadratfuß, sein körperlicher Inhalt an 23000 Kubikfuß, und sein ganzes Gewicht belief sich auf 850 ℔. Diesen großen Aërostaten ließen sie an ihrem Wohnorte am 5. Juni 1783 im Angesicht einer großen Menge von Zuschauern in die Luft steigen, und er stieg so behend, daß man in zehn Minuten ihn fast aus dem Gesicht verloren hatte. Von dieser Höhe, die man auf tausend Toisen schätzte, senkte er sich wieder zur Erde nieder, und erreichte sie zwölfhundert Toisen von dem Ort entfernt, von dem er aufgestiegen war.

Dieser erste öffentliche Versuch, der so gut gelungen war, fand bald viele Nachfolger. Charles, Professor der Physik zu Paris, verfertigte eine Kugel von Taffet, die mit Firniß von elastischem Harz überzogen,

Digitized by Google

und mit brennbarer Luft gefüllt war. Mit Hülfe der Gebrüder Robert, zweier Mechaniker, brachte er eine Kugel zu Stande, die 146 Zoll im Durchmesser, also einen körperlichen Inhalt von 943 Kubikfuß hatte. Die Kugel wog 25 K. Nachdem ihre Füllung mehrere Tage weggenommen hatte, ließ man sie am 27. August 1783 in die Luft steigen. In zwei Minuten hatte sie schon eine Höhe von fast 500 Toisen erreicht, und kam erst nach $^3/_4$ Stunden und nachdem sie eine Weile ganz unsichtbar gewesen war, 5 Stunden von Paris, bei Gonesse, sehr sanft, aber ganz durchlöchert, wieder zur Erde. Die Durchlöcherung bekam sie in einer Luftschichte, deren Expansivkraft geringer, als die der eingeschlossenen brennbaren Luft war, wo nunmehr diese durch ihren Druck nach Außen, dem kein Gegendruck das Gleichgewicht hielt, den Ballon zerriß. Die äußere Luft drängte sich dann durch die Risse in den Ballon hinein, vergrößerte nach und nach sein Gewicht, und nöthigte ihn, den Rückweg anzutreten. Obgleich nun dieser Versuch, welcher der erste war, den man durch brennbare Luft im Großen ausführte, als gelungen betrachtet werden konnte, so blieben doch noch Viele bei den Montgolfieren, d, h. bei den Aërostaten, die durch Flammenfeuer gehoben werden, und vertrauten sogar sich selbst dieser gefährlichen Maschine an. Pilatre Derosiers, Vorsteher des Pariser Museums, unternahm mit dem Marquis Darlandes am 21. Nov. 1783 die erste Luftreise in einer Montgolfiere, die glücklich ablief. Dieses war auch der Fall mit einer zweiten, die er am 19. Januar 1784 in Gesellschaft von sieben Personen unternahm. Eine dritte aber, bei der er die Unvorsichtigkeit beging, eine Montgolfiere und brennbare Luft zusammen vereinigen zu wollen, kostete ihm und seinem Gefährten Romain das Leben. Am 15. Juni 1785 stürzten sie, nicht weit von Boulogne, aus der Luft herab, und wurden zerschmettert. Seit Pilatre Derosiers die erste Luftreise gewagt hatte, fanden sich bald mehrere Nachahmer. Schon am 1. Dez. 1783 stiegen Charles und Robert mit einem Aërostaten, der mit brennbarer Luft gefüllt war, in die Höhe. Am 5. Januar 1784 stieg ein französischer Maler, Bouche, zu Aranjuez in einer Montgolfiere auf, aus der er sich aber durch einen gewagten Sprung aus beträchtlicher Höhe retten mußte, da seine Maschine Feuer fing; er wurde stark beschädigt, doch kam er mit dem Leben davon, allein von diesem Tage an wurden alle aërostatischen Fahrten in Spanien verboten. Von allen Luftschiffern, die nun nach und nach sich sehen ließen, war aber Blanchard der kühnste und rastloseste. Unter dessen großen Menge von Luftreisen ist jedoch die merkwürdigste die, die er am 7. Januar 1785 in Gesellschaft eines Amerikaners, Jeffries, unternahm, indem er von Dover nach Calais übersetzte, und nach 2 Stunden und 32 Minuten glücklich die französische Küste erreicht hatte.

Robertson, Graf Zambeccari, Garnerin u. A. waren ebenfalls thätige Aëronauten, und in neuerer Zeit Green, der schon an 236 Luftfahrten mit seinem Riesenballon gemacht hat; seine 226ste, die er in Gesellschaft von Holland nach Mason gemacht hat, war besonders merkwürdig. Bei dieser Reise, die im November 1836 unternommen wurde, stieg er in London auf, und nachdem der Aërostat 2 Stunden lang über London geschwebt hatte, ging er nach Dover, von da in anderthalb Stunden über den 5 Meilen breiten Kanal, dann über die Niederlande bis in die Gegend von Weilburg, im Herzogthum Nassau, wo er zur Erde kam. Die ganze Reise, ein Weg von etwa 100 Meilen, wurde

Digitized by Google

in $17^1/_2$ Stunden zurückgelegt. Diese ist aber die größte und schnellste Luftreise, die man bis jetzt kennt, und mitunter war dabei der Aerostat in einer Höhe von 10,000 Fuß. Green, der seitdem noch mehrere interessante Luftreisen gemacht hat, füllt seinen Ballon mit Steinkohlengas, das zwar specifisch schwerer als Wasserstoffgas, aber viel wohlfeiler und noch leichter genug als atmosphärische Luft bis in eine gewisse Höhe ist. Die wichtigsten Luftfahrten sind die, welche für wissenschaftliche Zwecke unternommen werden; eine solche unternahmen Biot und Gay-Lüssac am 24. August 1804, und dieser allein am 16. September 1804, wobei er eine Höhe erreichte, die über 300 Toisen höher als der Chimborasso war. Auch Forster hat eine Luftreise zu gleichem Zwecke unternommen.

Bis jetzt ist jedoch die Aëronautik noch von geringem Nutzen, da man es nicht in der Gewalt hat, die horizontale Bewegung des Ballons zu leiten, sondern sich sowohl mit einer Montgolfiere als Charlesiere, dem Stoß und der Richtung des Windes überlassen muß. Der Versuch, den die Franzosen in dem Revolutionskrieg gemacht haben, um die feindliche Stellung mit einem Aërostaten zu recognosciren, ist ebenfalls bald wieder aufgegeben worden. Der italienische Luftschiffer Orlandi, der bereits 24 glückliche Fahrten gemacht hat, soll eine ganz neue Maschine angefertigt haben, welche mit verschiedenen Instrumenten versehen ist, theils um den Fluge Sicherheit, theils ihm eine bestimmte Richtung zu geben.

Die Vorzüge der Charlesiere gegen die Montgolfiere stellen sich bald heraus. Nicht nur, daß bei dieser das Schiffchen und der Ballon leicht in Brand gerathen können, ist auch die Unterhaltung des Feuers, und dessen Vermehrung und Verminderung, je nachdem man steigen oder sinken will, sehr beschwerlich und nicht nach Belieben zu treffen. Mit einer Charlesiere hingegen hat es der Luftschiffer ganz in seiner Gewalt, die Höhe zu bestimmen, die er zu erreichen gedenkt. Zu dem Ende nimmt er mehrere mit Sand gefüllte Säcke als Ballast mit. Will er höher steigen, so wirft er einen Theil seines Ballastes aus, wodurch der Aërostat leichter wird; will er sinken, so zieht er die oben am Ballon angebrachte Klappe vermittelst eines Strickes auf, ein Theil des Wasserstoffgases entweicht, wodurch der Ballon an Gewicht zunimmt, und sich senkt. Allen Ballast darf er aber nicht auswerfen, weil er sonst, nachdem er das Wasserstoffgas, womit der Ballon gefüllt ist, hat entweichen lassen, bloß von der Schwerkraft getrieben, mit beschleunigter Geschwindigkeit fällt, und so heftig gegen die Erde stoßen kann, daß er dadurch in nicht geringe Gefahr kommt. Hat er aber noch Ballast übrig, so kann er diesen nach und nach, je näher er der Erde kommt, auswerfen, und so die Geschwindigkeit bis zu dem Grad mäßigen, daß er nun ganz sanft zur Erde gelangt und den Landungsplatz in seiner Gewalt behält.

Um die Kraft, mit der ein mit Wasserstoffgas gefüllter Ballon sich erhebt, zu berechnen, mag folgendes Beispiel dienen.

Der Aërostat, womit Charles und Robert am 1. December 1783 aufstiegen, war eine Kugel von 26 Pariser Fuß im Durchmesser. Aus der Geometrie ist bekannt, daß der körperliche Inhalt einer Kugel gefunden wird, wenn man den Durchmesser auf die dritte Potenz erhebt, mit der Peripheriezahl $\frac{22}{7}$ multiplicirt, und durch 6 dividirt. Daher hatte diese aërostatische Kugel einen Inhalt $= \frac{26^3 \times 22}{7 \times 6} = 9206$ Kubikfuß.

Digitized by Google

Nimmt man an, der ganze Ballon sei mit Wasserstoffgas gefüllt, und dieses sey, weil es nicht möglich ist, alle atmosphärische Luft aus dem Ballon herauszuschaffen, nur 10mal leichter als die atmosphärische Luft gewesen, so hat die brennbare Luft, die den Ballon füllte, nahe an 84 Pfund gewogen, wenn man einen Kubikfuß Wasser zu 70 Pfund, und die atmosphärische Luft 770mal leichter als Wasser annimmt (§ 126). Hierzu noch das Gewicht des Ballons mit allem Zubehör und das Gewicht der beiden Luftfahrer, welches zusammen 605 Pfund war, addirt, gibt in Allem ein Gewicht von 689 Pfund. Da der Ballon 9206 Kubikfuß atmosphärische Luft aus der Stelle trieb, und diese den 770sten Theil von 9206mal 70 Pfund = 837 Pfund wog, so blieb noch eine Kraft von 148 Pfund übrig, mit welcher die Aërostat in die Höhe ging, d. h. in der Luft schwamm (§ 101).

Allgemein läßt sich diese Berechnuug auf folgende Weise übersehen. Der körperliche Inhalt des Ballons sey a Kubikfuß. Wiegt ein Kubikfuß atmosphärische Luft b Pfund (wo natürlich b ein ächter Bruch ist); so wiegen a Kubikfuß ab Pfund, und so viel beträgt denn der Gewichtsverlust, den der Ballon in der Luft erleidet.

Von der in dem Ballon eingeschlossenen Luft wiege ein Kubikfuß c Pfund, folglich wiegen a Kubikfuß ac Pfund.

Das Gewicht des Ballons sammt der daran hängenden Last sey d Pfund, so ist das Gewicht des Ballons und das der darin befindlichen Luft zusammen = d + ac Pfund.

Ist nun dieses Gewicht um g kleiner, als das Gewicht der verdrängten Luft, so steigt der Ballon mit dem Gewichtsüberschuß g, daher

$$g = ab - (d + ac) = ab - ac - d$$
$$= a(b - c) - d,$$

d. h. die Kraft, mit welcher der Ballon steigt, wird gefunden, wenn man das Gewicht von einem Kubikfuß der im Ballon eingeschlossenen Luft abzieht von dem Gewicht eines Kubikfußes atmosphärischer Luft, den Rest mit dem körperlichen Inhalt des Ballons multiplicirt und von dem Product das Gewicht des Ballons mit seiner ganzen Last abzieht. Ist aber kein Gewichtsüberschuß da, also g = o, so ist a (b — c) = d, in welchem Fall der Ballon in der Luft bloß schweben, aber nicht steigen kann.

Von zwei Ballon, die aus einerlei Materie verfertigt sind, ist der, der den größten Durchmesser hat, leichter zum Steigen zu bringen, als der, dessen Durchmesser kleiner ist. Die Behauptung, von der vielleicht Mancher auf den ersten Anblick gerade das Gegentheil für richtig hält, weil es scheint, daß kleine Ballons, die mit größern aus einerlei Stoff bestehen, leichter als die größern steigen müßten, läßt sich mathematisch außer allem Zweifel setzen, wenn man bedenkt, daß zwei Kugeln in Beziehung ihres körperlichen Inhalts sich verhalten, wie die Kubikzahlen, in Beziehung ihrer Oberflächen aber, wie die Quadratzahlen ihrer Durchmesser. Da nun ein jeder Ballon als eine hohle Kugel anzusehen ist, so richtet sich das Verhältniß zweier Ballons, die aus derselben Materie bestehen, in Beziehung auf ihr Gewicht, nach der Größe ihrer Oberflächen, also nach dem Quadrat ihrer Durchmesser, allein das Verhältniß der Luftkugeln, die sie aus der Stelle vertreiben, hängt von ihrem körperlichen Inhalt, also von dem Kubus ihrer Durchmesser ab. Weil aber die Kubikzahlen in einem viel größeren Verhältniß als die Quadratzahlen

Digitized by Google

wachsen, so müssen größere Ballons auch verhältnißmäßig weit mehr Luft aus der Stelle treiben, als kleinere, daher auch leichter steigen. Gesetzt, ein Ballon habe einen Durchmesser von einem Fuß, und ein anderer von demselben Stoffe habe 8 Fuß Durchmesser. Dem Gewichte nach verhalten sie sich wie ihre Oberflächen, also wie das Quadrat von 1 zum Quadrat von 8, d. i. wie 1 zu 64. Dem körperlichen Inhalt nach verhalten sie sich aber wie der Kubus von 1 zu dem Kubus von 8, d. i. wie 1 zu 512. Der größere Ballon hat nun zwar 64mal mehr Gewicht, verdrängt aber 512mal mehr Luft als der kleinere, und muß daher leichter steigen. Wie groß übrigens der Durchmesser mindestens genommen werden muß, wenn der Ballon überhaupt soll steigen können, läßt sich ebenfalls berechnen, wenn man das Gewicht der Hülle und das der Luft, mit der sie gefüllt ist, gegen das Gewicht der Luftmasse vergleicht, die aus der Stelle verdrängt wird. Mit Wasserstoffgas gefüllt und bloß in der Luft zu schweben, muß der Durchmesser des Ballons 10 Zoll groß seyn, wenn zu der Hülle gewöhnliches Postpapier, 2 Fuß groß, wenn Zeichnenpapier und über 3 Fuß groß, wenn Wachstaffet dazu genommen wird.

---

# Eilftes Kapitel.

## Schall.

§ 138. (Akustische Lehrgegenstände.) Sowohl feste als flüssige Körper, namentlich expansible Flüssigkeiten können durch eigenthümliche Stöße in zitternde, pendelartig schwingende Bewegungen versetzt werden, deren Geschwindigkeit sehr groß ist. Eine solche Bewegung kann durch das Gehör wahrgenommen werden, und wird, in diesem hörbaren Zustand, im Allgemeinen ein Schall genannt.

Mit dem Gehör, das in den thierischen Körpern in sehr mannigfaltigen Graden vorhanden ist, hat der allmächtige Urheber der Natur diesem Reiche, vorzüglich jedoch dem Menschen, das Mittel zur Erregung sehr mächtiger und verschiedenartiger Gefühle verliehen, allein von diesem Gesichtspunkte aus gehört die Lehre vom Schalle in das Gebiet der Physiologie (s. Einleitung). In der Physik handelt es sich bloß von den Bedingungen der Entstehung des Schalles, und von den Gesetzen, die dabei stattfinden, und die wissenschaftliche nur mit Hülfe der Mathematik zu führende gründliche Untersuchung dieser Gegenstände, wozu denn auch die Theorie der Musik gehört, wird die Akustik genannt. Der Umfang derselben zerfällt in drei Abschnitte:

I. Die Hervorbringung, II. die Fortpflanzung, III. die Wahrnehmung des Schalles.

§ 139. (Schallende Körper.) Bewegungen, die vermittelst des Schalles, den sie mit sich führen, durch das Gehör empfunden werden, entstehen, wenn Theile eines Körpers so erschüttert werden, daß sie wellenartig sehr schnell hin- und herschlagen. Da diese Bewegungen den Schwingungen eines Pendels ähnlich sind, so werden sie auch Oscillationen, Vibrationen genannt. Körper, die durch Schlagen, Stoßen, Reiben, durch Streichen mit einem Bogen oder durch sonst ein schickliches Mittel in solche

Digitized by Google

Schwingungen versetzt werden können, werden schallende (sonore) Körper genannt.

In so fern nun der Schall durch solche schwingende Bewegungen erzeugt wird, in so fern kann er auch nur von Körpern ausgehen, die zu solchen Bewegungen vorzüglich geeignet sind, von solchen, deren Schwingungen noch fortdauern, wenn gleich die äußere Ursache, durch welche sie in diesen Zustand versetzt worden sind, zu wirken aufgehört hat. Eben darum ist Elastizität das erste Erforderniß eines schallenden Körpers. Ein völlig unelastischer Körper ist zu solchen Schwingungen untauglich, und wird daher nicht nur für sich selbst nicht schallend seyn, sondern sogar den Schall dämpfen, der von einem schallenden Körper ausgeht. Da es aber keinen derartigen Körper gibt (§ 26), so gibt es auch keinen Körper der ganz unfähig zum Schallen wäre, allein unter gleichen Umständen ist seine Fähigkeit, schallend zu seyn, allemal um so größer, einen je höhern Grad von Elastizität er besitzt.

Der hohe Grad von Elastizität, welcher der Luft und allen luftförmigen und expansibeln Flüssigketten eigen ist, macht daher diese Körper zu solchen, die vorüglich schallend sind. Der Knall einer Peitsche, der Knall eines Schießgewehrs, das Sausen und Pfeifen der Luft, wenn ein Stab oder eine Gerte schnell hin und her geschwungen wird, das Rauschen des Wassers, das Heulen der Winde, das Krachen des Donners, das Reden und Singen, das summende Getöse fliegender Insekten, und so vieles andere Getön und Geräusch, das in der Luft entsteht, sind Folgen eines plötzlichen Zusammenschlagens und Ausdehnens der Luft, vermöge ihrer großen Elastizität. Dieses Zusammenschlagen und Ausdehnen hängt aber nicht von der bloßen Bewegung der Luft ab, da sie in diesem Zustand nicht schallend ist. Ein Luftstrom, der durch eine Oeffnung in das Freie oder in eine Röhre strömt, erzeugt keinen Schall, wenn die Schwingungen fehlen, durch welche diese plötzlichen Schläge in der Luft bewirkt werden.

Auch feste Körper, deren Elastizität groß genug ist, um in eigenthümliche schwingende Bewegung zu gerathen, wenn sie geschlagen oder gestrichen werden, gehören in die Klasse der schallenden Körper. Stahl, Glocken von Glas und Metall, gespannte Draht- oder Darmsaiten und noch viele andere feste Körper besitzen diese Eigenschaft, sind also schallende Körper. Bei vielen kann man die schwingende Bewegung durch das Gefühl und das Gesicht wahrnehmen. So fühlt man die Schwingungen einer schallenden Glocke, einer tönenden Saite, wenn man sie berührt. Ein Stückchen Siegellack, an einem Zwirnsfaden hängend und an eine angeschlagene Glocke gehalten, geräth in pendelartige Schwingungen, deren Dauer von der Dauer des Glockentons abhängt. Sand, Staub, Papierschnitzchen und andere leichte Körperchen, die auf einer Saite liegen, werden weggeschleudert, wenn sie zu tönen beginnt. Streicht man mit einem nassen Finger oder einem Violinbogen mit zunehmender Schnelligkeit über den Rand eines Glases, das etwa halb voll Wasser ist, so entsteht endlich öfters ein lebhafter Klang, bei dessen Schwingungen die Oberfläche des Wassers in wellenförmige Bewegung versetzt wird.

Wie sehr die Schallfähigkeit der Körper von der Elastizität derselben abhängt, kann man auch daraus abnehmen, daß Metallmischungen weit lebhafter klingen, als jedes einzelne Metall für sich allein, indem durch schickliche Mischungen die Elastizität der Metalle erhöht wird. Auch Saiten schwingen desto schneller und klingen dann desto lebhafter, je mehr sie gespannt sind.

Digitized by Google

Obgleich Elastizität eine der ersten Erfordernisse eines schallenden Körpers ist, so ist sie jedoch keineswegs die einzig hinreichende. Viele feste Körper sind sehr elastisch, z. B. ein Schwamm, Federharz u. a. m., gehören aber dennoch nicht in die Klasse derer, die schallend sind. Damit ein solcher Körper Schallfähigkeit habe, müssen also, außer der Elastizität, auch noch andere Umstände, die theils im Gefüge der Körpertheile, theils in einem bestimmten Grad von Sprödigkeit und Spannung zu suchen sind, mit dabei seyn. Auch das Werkzeug, womit man den Schall zuwege bringen will, ist in den meisten Fällen gewissen Eigenschaften unterworfen, ohne welche auch der schallfähigste Körper, besonders bei festen Körpern, keinen Schall von sich gibt. Eine Glocke, auf die man mit einem hölzernen Hammer schlägt, oder mit einem metallenen Hammer, der mit Tuch oder sonst einem weichen Körper umwickelt ist, tönt nur schwach oder gar nicht. So klingen auch gespannte Saiten, die mit einem weichen Körper oder mit einem schlaffen, nicht elastischen Bogen gestrichen werden, kaum hörbar oder gar nicht.

Daß nicht jeder elastische schallfähige Körper einerlei Art von Schall hören läßt, liegt, außer der materiellen Verschiedenheit, der Cohäsion und dem Gefüge, auch in der Gestalt des schallenden Körpers. Bei manchen, wie bei Saiten, übertrifft die Ausdehnung nach der Länge bei weitem jene der Breite und Dicke. Diese schwingen daher auch anders und geben darum eine andere Art von Schall von sich, als Körper, die zwar sehr dünn sind, aber eine bedeutende Breite haben, wie Trommelfelle und scheibenförmige Körper. Bei Stäben und Glocken, wo auch die Dicke beträchtlich ist, fällt eben darum die Art des Schalles abermals anders aus. Auch die Behandlung zur Hervorbringung des Schalles hängt, wie leicht zu erachten, mit der verschiedenen Gestalt der schallenden Körper zusammen. Saiten müssen der Länge nach, an beiden Enden, Trommelfelle der Länge und Breite nach befestigt und gespannt seyn, wenn sie schallen sollen, indessen dicke und steife Körper, wie Stäbe, nur an einem Ende befestigt werden dürfen. Ist der Körper hinlänglich dick und durch Krümmung in sich selbst schon genugsam gespannt, wie Ringe und Glocken, so schallt er, wenn er schwebend aufgehängt ist. Chladni, dem die Akustik viele Bereicherungen zu verdanken hat, theilt die schallenden Körper überhaupt in drei verschiedene Klassen ein. Zu der ersten Klasse rechnet er die festen Körper, die durch Spannung elastisch sind, mit dem Unterschiede, daß sie entweder bloß der Länge nach gespannt sind (fadenförmige), wie gespannte Saiten, oder der Länge und Breite nach (membranförmige), wie Trommelfelle. Zu der zweiten Klasse gehören solche, deren Elastizität aus innerer Steifigkeit herrührt. Auch diese sind fadenförmig, wie Stäbe, dicke Metalldrähte, Glasröhren u. s. w. Dabei sind sie theils gerade, theils, wie Gabeln und Ringe, gebogen. Andere sind membranförmig, theils mit geraden Flächen, wie Scheiben, theils mit gekrümmter Fläche, wie Glocken. Zu der dritten Klasse gehören die expansibeln Flüssigkeiten, die durch Druck elastisch sind.

§ 140. (Schwingungsarten.) Die Schwingungen, die ein Körper im Schallen macht, sind von der Art, daß sie bloß nach der Quere des schallenden Körpers stattfinden (Transversalschwingungen), wie dieses bei gespannten Saiten meistens der Fall ist, oder der Körper schwingt der Länge nach (Longitudinalschwingungen), was zwar auch bei gespannten Saiten stattfindet, wenn sie unter sehr spitzen Winkeln

Digitized by Google

gestrichen werden, am meisten aber bei Blasinstrumenten vorkommt. Transversalschwingungen sind auf die Länge des Körpers senkrecht, Longitudinalschwingungen aber sind mit der Länge des Körpers gleichlaufend.

Bei Stäben hat man auch einen Schall vermittelst drehender Schwingungen bemerkt. Wenn man eine Barometerröhre mit einem feuchten wollenen Lappen, der mit Bimssteinpulver bestreut ist, nach einer Richtung reibt, während man sie nach der entgegengesetzten Richtung dreht, so kommen diese Schwingungen zum Vorschein.

§ 141. (Schwingungsknoten.) Alle diese Schwingungen können durch den ganzen Körper sich erstrecken, so, daß alle seine Theile, jedoch die Punkte, wo er befestigt ist, ausgenommen, zugleich schwingen, oder es schwingen nur einzelne Theile des Körpers, und andere bleiben dabei in Ruhe. Dergleichen Theile nennt man Ruhestellen oder Schwingungsknoten. Diese Ruhestellen hindern jedoch nicht, daß die schallenden Molekül um sie her ihre wellenförmige Bewegungen fortsetzen, wie eine eingesenkte Wand den Fortgang der Wasserwellen nicht stört, obgleich sie sich daran brechen können. Diese Schwingungsknoten kann man auch dem Auge sichtbar machen, wenn man eine dünne Scheibe von gemeinem Fensterglase mit feinem, recht trocknem Sand, der nicht staubig, von Unreinigkeiten und groben Stücken frei ist, bestreut, sie dann spitz zwischen den Daumen und den Zeigefinger faßt, und nun, ohne ihren Rand mit der Hand, in der man sie hält, zu berühren, mit einem Violinbogen in senkrechter Richtung streicht. In dem Augenblick, wo die Scheibe zu klingen beginnt, wird der Sand von den schwingenden Stellen weggeschleudert, und sammelt sich dagegen in den Schwingungsknoten an. Diese Ansammlung bildet zugleich allerlei sehr regelmäßige Figuren, um so regelmäßiger, je reiner der Klang der Scheibe gewesen ist. Chladni hat dieses einfache und sinnreiche Mittel, die Schwingungsknoten sichtbar zu machen, zuerst angegeben; daher nennt man die sich bildenden Figuren die Chladnischen Klangfiguren. Soll der Versuch gut gelingen, so muß genau und geschickt zu Werke gegangen werden. Die Scheibe muß dünn, matt geschliffen, so viel wie möglich von gleichförmiger Dicke, und nicht gar zu groß, der Bogen etwas stark, gut mit Colophonium bestrichen und nicht zu schlaff gespannt seyn, und der Sand die angegebenen Eigenschaften haben. Man streut ihn am besten aus einer kleinen engldcherigen Sandbüchse auf, damit er sich gleichförmig vertheile, und nicht zu dicht anhäufe. Das Schwierigste bei diesem Versuche ist das richtige Anfassen der Scheibe, das allemal in einer Knotenlinie geschehen muß. Uebung muß hierbei das Mehrste thun. Auch das Anstreichen, das von unten aufwärts, oder von oben abwärts geschehen kann, hat einige Schwierigkeit. In der Regel ist es am besten, den Strich in dem Zwischenraum des Punktes, wo man die Scheibe angefaßt hat, zu führen. Auch hierzu wird Uebung erfordert. Große Scheiben, die sich nicht mehr gut mit den Fingern halten lassen, müssen mit einer Kneipzange oder einem Schraubenstocke gehalten, und da, wo sie gehalten werden, mit einem Stückchen Tuch, Leder, Kork oder sonst einem weichen Körper belegt seyn. Tiefe Klänge geben einfachere Figuren, als hohe Klänge. Die Klänge fallen aber desto höher aus, je näher nach dem Rande die Scheibe angefaßt wird. Mit dem Ort der Anfassung ändern sich auch Klang und Schwingungsknoten; daher eine und dieselbe Scheibe sehr verschiedene Klangfiguren liefern kann. Unreine Klänge aber bilden regellose Anhäu-

Digitized by Google

fungen. Man hat dreieckige, viereckige, vieleckige, kreisrunde und eiförmige Scheiben zu diesem Versuche. Jede Art hat eigene Schwingungsknoten und gibt andere Klangfiguren, wodurch eine große Mannigfaltigkeit derselben entsteht; Chladni hat sie in seiner Akustik beschrieben und abgebildet. Zu bemerken ist noch, daß man darauf zu achten habe, daß die Scheibe, der man sich bedient, keinen zu scharfen Rand habe. Die große Aufmerksamkeit, welche diese schönen Versuche überall erregten, bewogen auch den Kaiser Napoleon, sich dieselben vorzeigen zu lassen, worauf er Chladni 6000 Fr. auszahlen ließ, um seine Akustik auch französisch herauszugeben. Wheatstone übergoß die Glasscheiben mit einer dünnen Wasserschicht, und diese gaben zwar keine so erkennbare Schwingungsknoten, als bei dem Sande, dagegen aber sich in verschiedenen Richtungen durchkreuzende Wellen. Von den bekannten Figuren ganz verschieden und sehr mannigfaltige bemerkte Marx, indem er dünne Membranen von Kautschuk durch ein dem Trompetenmundstück ähnliches Rohr von unten anblies, und nachdem sie dadurch in Schwingungen gerathen waren, mit Sand bestreute. Strehlke fand, daß alle Knotenlinien gekrümmt seyen, und daß sie sich niemals durchschneiden. Derselbe bemerkte auch Klangfiguren bei cylindrischen Trinkgläsern. Wird nämlich ein solches Glas befeuchtet und inwendig und auswendig mit feinem Sand bestreuet, dann mit einem Violinbogen gestrichen, so entstehen innen spitze Streifen von unten nach oben, und auswendig bilden sich Figuren an den Stellen, wo inwendig keine sind. Besonders ausgezeichnet viele und schöne Versuche über das Wesen der Klangfiguren hat Savart, außer mit Glasscheiben, auch mit Scheiben aus verschiedenen Holzarten, Krystall u. a. Stoffen angestellt, wobei er die Verschiedenheit der Elastizität dieser Stoffe untersuchte, und auch auf die Verrückung der Knotenlinien aufmerksam machte.

Auch bei einem Glase, das etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist, und über dessen Rand man recht schnell mit nassem Finger herumfährt, zeigen sich solche Ruhestellen, indem die Wellen, die sich beim Klang des Glases auf der Oberfläche des Wassers bilden, nur von bestimmten Stellen ausgehen, und an andern Stellen in Ruhe bleiben.

Berührt man einen klingenden Körper mit dem Finger oder mit einem andern Körper, so hören die Schwingungen und mit ihnen der Klang auf, wenn die Berührung in schwingenden Stellen geschieht. Wird aber der klingende Körper in seinen Schwingungsknoten berührt, so leiden seine Schwingungen dadurch keine Störung, und er klingt fort. Darum muß der Hammer, der an eine Glocke schlägt, sich gleich wieder von ihr wegheben; bliebe er darauf liegen, so würde er die schwingenden Stellen der Glocke stören, und diese nicht klingen können. Geborstene Glocken tönen sehr dumpf, unter gewissen Umständen auch gar nicht, weil der Riß in der Glocke den Theilen derselben eine solche Lage gibt, daß schwingende Stellen berührt werden. Der Ton kann aber, nur etwas tiefer, wieder hergestellt werden, wenn der Riß durchsägt wird, weil die Durchsägung die Berührung wieder aufhebt.

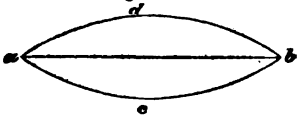
Leichte Körperchen häufen sich auch an schwingende Stellen an, z. B. Bärlappsamen, der unter den Sand gemischt wird. Faraday schreibt diese Erscheinung der Luft zu. Die Luft wird durch die Schwingungen des schallenden Körpers zurückgestoßen, und die dadurch entstehenden Luftströmungen reißen die leichten Körperchen von den Knotenlinien weg, und häufen sie an den schwingenden Stellen an, und diese Erklärung wird

Digitized by Google

dadurch besonders unterstützt, daß diese Erscheinung in einem luftleeren Raume nicht stattfinden.

§ 142. (Schwingungsgesetze.) Die Gesetze der Schwingungen lassen sich an gespannten Saiten entwickeln und nachweisen. Hierzu dient der Tonmesser, auch Sonometer genannt. Es besteht dieses Instrument aus einer oder einigen Darmsaiten (Monochord und Tetrachord), die über einem Resonnanzboden durch Gewichte mehr oder weniger gespannt, und durch untergesetzte Stege (Sattel) verlängert oder verkürzt werden können. Ist die Saite so schlaff gespannt, daß sie, wenn sie gestrichen wird, nur langsam schwingt, so hört man ihre Schwingungen nicht. Hieraus folgt, daß nur die Schwingungen gehört werden können, die mit hinlänglicher Geschwindigkeit erfolgen. Die Schwingungen selbst, deren Theorie durch Männer wie Chladni, Gebrüder Weber, Poisson, Herschel d. j., Savart u. A. experimental und analytisch mit großem Scharfsinn erforscht worden ist, haben mit den Pendelschwingungen das gemein, daß sie fast vollkommen gleichzeitig (isochronisch) erfolgen. Was bei'm Pendel durch die Schwere, das wird hier durch die Elastizität des schwingenden Körpers bewirkt. Wird nämlich eine gespannte Draht- oder Darmseite ab (Fig. 116) aus ihrer Lage heraus, und in die Lage acb gezogen, so schnellt sie, vermöge ihrer Elastizität, von selbst wieder in die Lage ab zurück, kann aber, vermöge der Trägheit, hier nicht ruhen, und gehet darum weiter in die Lage adb über. Von der Elastizität aufgehalten, geht sie wieder nach ab zurück, und, vermöge der Trägheit, wieder weiter nach acb, und so schlägt sie auf diese Weise abwechselnd zwischen acb und adb hin und her. Daß aber die Schwingungsbogen immer kleiner werden, die Saite zuletzt in der Lage ab beharrt, und wieder zur Ruhe gelangt, daran ist, außer der Gegenwirkung zwischen der Elastizität und der Trägheit, auch der Widerstand der Luft und die Reibung schuld, die an den Stellen, wo die Saite befestigt ist, stattfindet. Ohne diese Hindernisse müßten die Schwingungen der Saite ohne Ende fortdauern.

Fig. 116.




Um sich von der Gleichzeitigkeit der Schwingungen zu überzeugen, müßte man sie von Sekunde zu Sekunde zählen können. Schwingungen aber, die gehört werden, folgen so schnell auf einander, daß ein unmittelbares Zählen nicht angeht. Man muß sich daher auf eine andere Weise von ihrer Gleichzeitigkeit überzeugen. Folgender Versuch, obgleich er ziemlich ungenau und auch von der Art ist, daß sich die Schwingungen noch zählen lassen, kann doch dazu dienen, weitere Schlußfolgen zu begründen, und ist überdieß leicht auszuführen.

An einem nicht ganz $36\frac{1}{2}$ Pariser Zoll oder 38 rheinische Zoll langen dünnen Bindfaden befestige man eine kleine Bleikugel, und hänge das andere Ende des Fadens an einen Nagel so auf, daß die Vorrichtung frei hin und her schwimmen kann, so hat man ein für diesen Versuch bei uns ziemlich genaues Sekundenpendel. Nun nehme man einen etwas starken Bindfaden, oder eine mäßig dicke Corde, von einer bestimmten Länge, z. B. 12 Fuß lang, binde sie mit dem einen Ende irgendwo, z. B. an eine Stuhllehne, an, an das andere Ende aber hänge man ein bestimmtes Gewicht, etwa ein Pfund, und lege es über eine andere Stuhllehne, doch so, daß der Faden horizontal gespannt wird. Rückt man die

Digitized by Google

Stühle um die ganze Länge des Fadens, also etwa 12 Fuß lang, aus einander, hebt dann den Faden ein wenig in die Höhe, und läßt ihn wieder fahren, so geräth er in Schwingungen, die noch langsam genug sind, um gezählt werden zu können, entweder durch das Gesicht, oder dadurch, daß man einen Finger unter den Faden hält, so daß er von dem schwingenden Faden leise berührt wird. Zählt nun Jemand einige Sekunden lang die Schwingungen des Pendels, ein Anderer die des Fadens, so wird sich ergeben, daß für den angegebenen Fall der Faden vier Schwingungen in einer Sekunde gemacht hat. Aus diesem Versuche, so unvollkommen er auch an sich ist, kann man aber doch über das wichtige Verhältniß der Schwingungen zu der Länge des Fadens sich einigermaßen belehren. Rückt man nämlich die Stühle um die Hälfte ihrer Entfernung näher an einander, so, daß sie nur noch 6 Fuß aus einander stehen, und sorgt dafür, daß der Faden horizontal gespannt bleibt, indem man dasselbe Gewicht so anbindet, daß es wieder frei über die andere Stuhllehne herabhängt, ohne die Erde zu berühren, und läßt nun den Faden und das Pendel schwingen, so wird er jetzt in einer Sekunde acht, also noch einmal so viele Schwingungen, als vorhin, machen.

Für gespannte Saiten hat man durch viel genauere Versuche, vermittelst des Sonometers und der dazu gehörigen Berechnungen, die Schwingungsgesetze weit vollkommener aufgefunden. Sie richten sich nach der Länge und nach dem Gewicht oder der Masse der Saiten, so wie nach der Kraft, womit die Saiten gespannt sind, und bestehen in folgenden:

I. Haben zwei Saiten gleiche Länge und gleiche Masse, mithin auch gleiche Dicke, und sind sie durch einerlei Kraft gespannt, so machen sie in derselben Zeit gleich viel Schwingungen, und brauchen zu einer einzelnen Schwingung gleich viel Zeit.

II. Haben zwei Saiten gleiche Dicke und gleiche Spannung, aber verschiedene Länge, so macht die längere Saite in derselben Zeit weniger Schwingungen, als die kürzere. Zu einer einzelnen Schwingung braucht daher jene mehr Zeit, als diese. Ist die eine Saite noch einmal so lang, als die andere, so macht sie in derselben Zeit nur halb so viele Schwingungen; ist sie dreimal länger, nur ein Drittel so viele Schwingungen, als die kürzere. Die Menge der Schwingungen steht also mit der Länge der Saiten im umgekehrten Verhältniß.

III. Haben zwei Saiten gleiche Länge und gleiche Spannung, aber verschiedene Dicke, so macht die dickere Saite in derselben Zeit weniger Schwingungen, als die dünnere. Zu einer einzelnen Schwingung braucht daher jene mehr Zeit, als diese. Ist die eine Saite noch einmal so dick, als die andere, so macht jene in derselben Zeit nur halb so viele Schwingungen, als diese. Rührt die verschiedene Dicke von dem Stoff der Saite her, z. B. Darm- und Metallsaiten, so verhält sich, unter sonst gleichen Umständen, die Zahl der Schwingungen umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus ihren specifischen Gewichten.

IV. Haben zwei Saiten gleiche Länge und Dicke, aber verschiedene Spannung, so macht die stärker gespannte Saite in derselben Zeit mehr Schwingungen, als die weniger gespannte. Zu einer einzelnen Schwingung braucht daher jene weniger Zeit als diese. Die Menge der Schwingungen richtet sich hier nach den Quadratwurzeln der spannenden Kräfte. Von zwei Saiten, die gleich lang und dick sind, sey die eine mit 4 ℔,

Digitized by Google

die andere mit 16 ℔ gespannt. Aus 4 ist die Quadratwurzel 2, aus 16 ist sie 4. Die mit 16 ℔ gespannte macht daher in derselben Zeit 4 Schwingungen, in welcher die mit 4 ℔ gespannte Saite deren 2 macht, und schwingt daher doppelt so schnell.

Von diesen vier Gesetzen ist jedoch das zweite für die Anwendung bei weitem das reichhaltigste, und für die Tonkunst von besonderm Interesse.

Nebst dem Sonometer dienen auch elastische Stäbe, die an einem Ende befestigt sind, zur Bestimmung der Schwingungsgesetze und deren Berechnung. Auch auf diesem Wege hat es sich bestätigt, daß nur solche Schwingungen, die mit hinlänglicher Geschwindigkeit erfolgen, gehört werden können, und obige Gesetze auch hier ihre Anwendung finden.

Bei Orgelpfeifen und Blasinstrumenten finden diese Gesetze abermals statt. Hier ist die Luft, durch abwechselnde Verdichtungen und Verdünnungen, wodurch Luftwellen und Schwingungsknoten entstehen, der schwingende Körper, und ihre Schwingungen sind longitudinal, da bei der großen Beweglichkeit und Flüssigkeit der Luft, weder transversale, noch drehende Schwingungen entstehen können. Je kürzer und enger dieselbe Pfeife ist, desto mehr Schwingungen finden in derselben Zeit statt. Die schwingende Luft ist hierbei gleichsam als eine Luftsaite zu betrachten, die desto schneller schwingt, je kürzer und enger die Pfeife ist. Bei Blasinstrumenten wird diese schwingende Luftsaite bald durch Schließung und Oeffnung von Löchern und Klappen, bald durch Lippe und Zunge, beim Waldhorn auch mit der Hand, theils verlängert und verkürzt, theils verdichtet und verdünnt.

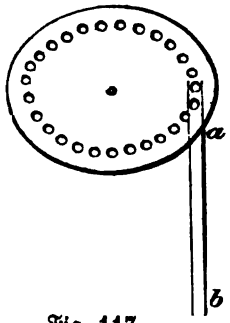


Fig. 117.

Auch die von Caignard de Latour erfundene Sirene (Fig. 117) dient zur Bestimmung der Schwingungsgesetze. Die vornehmsten Theile von diesem, aus mehreren wesentlichen einzeln Stücken zusammengesetzten Instrument besteht aus einer Scheibe, die von Löchern durchbrochen ist, und die alle in gleicher Entfernung von einander und kreisförmig auf der Scheibe herum liegen. Wenn die Scheibe gedreht wird, wozu das Instrument eine besondere Vorrichtung hat, so werden die Löcher in diesem Kreise, die alle schräg eingeschnitten sind, abwechselnd geschlossen und wieder frei, durch die Röhre ab, über welcher diese Löcher liegen. Läßt man nun an dem Ende b der Röhre Luft oder irgend eine Flüssigkeit einströmen, so strömt diese nach a hin, und bei der Drehung der Scheibe geht sie stoßweise durch die über ihr treffenden geöffneten Löcher des Kreises, und aus denen, aus welchen sie ausströmt, entsteht ein Ton. Die Höhe und Tiefe desselben hängt zwar von der Schnelligkeit ab, mit welcher die Scheibe gedreht wird, allein für jede bestimmte Drehung bleibt der Ton derselbe, unabhängig von der durchströmenden Flüssigkeit. Durch einen an dem Instrument angebrachten Mechanismus, welcher die Anzahl der Umdrehungen der Scheibe in einer Sekunde bemerklich macht, hat man bezüglich der Schwingungsgesetze gefunden, daß erst ein Ton entsteht, wenn die Schnelligkeit der Drehung so groß ist, daß 16 Löcher in einer Sekunde an der Röhre vorübergehen, und Savart fand, daß bei einer Drehungsgeschwindigkeit, die 1500 mal größer ist, wo also 24000 Löcher in einer Sekunde die Röhre passiren, nur noch ein Zischen, aber kein Ton mehr wahrgenommen wird.

Digitized by Google

§ 143. (Tonverhältniße.) Die Empfindungen, die durch den Schall rege werden, ſind höchſt mannigfach, und können ebenſo widerlich und ſchmerzlich, als wohlthuend, angenehm und entzückend ſeyn. Ob es phyſiologiſch möglich iſt, den tiefern Grund davon zu erforſchen, muß hier unerörtert bleiben. Ausgemacht iſt es aber, daß in Beziehung auf das Gefühl es ſehr darauf ankommt, ob die Schwingungen des ſchallenden Körpers ſchnell oder langſam erfolgen, und ob ſie dabei eine gewiſſe Regelmäßigkeit haben, oder unregelmäßig ſind.

Zur Bezeichnung der verſchiedenen Arten des Schalles, die zwar alle durch ſchnelle Schwingungen des ſchallenden Körpers erzeugt werden, jedoch in ſehr mannigfaltiger Verſchiedenheit der Wahrnehmung und Empfindung, und die daher bald mehr, bald weniger unregelmäßig ſeyn können, hat namentlich die deutſche Sprache eine große Abſtufung in der Benennung derſelben, z. B. Murmeln, Rieſeln, Plätſchern, Girren, Zwitſchern, Pfeifen, Sauſen, Brauſen, Toſen, Brüllen, Raſſeln, Rollen, Krachen, Pochen, Kniſtern, Knirſchen, Ziſchen, Quicken, Gatzen u. ſ. w. Im Allgemeinen heißt ein jeder Schall, der ungleichmäßig und in ſeinen Abwechſelungen regellos iſt, ein Geräuſch, bei großer Heftigkeit ein Getöſe, bei großer Stärke mit nur augenblicklicher Dauer ein Knall.

Von allen Arten des Schalles iſt jedoch vorzugsweiſe nur der Schall, der durch regelmäßige Schwingungen des ſchallenden Körpers erzeugt wird, der nähern Betrachtung fähig, und den Geſetzen der Schwingungen entſprechend. Die Tonkunſt findet hier ihre Begründung, und wenn nur Polyhymnia, wie Schiller von dieſer Muſe ſagt, die Seele ausſpricht, ſo geht ſie in der unwiderſtehlichen Gewalt, die ſie über das menſchliche Herz ausübt, von dieſen Geſetzen aus.

Die Regelmäßigkeit der Schwingungen beſteht aber darin, daß in gleicher Zeit gleich viel entſtehen, und daß ſie von einiger Dauer ſind. Die Art Schall führt den Namen Klang.

Wie verſchieden auch die Wahrnehmung des Klanges bei der großen Mannigfaltigkeit der klingenden Körper iſt, ſo hat doch jeder Klang einen gewiſſen Ton. Hierunter verſteht man die Menge der Schwingungen, die ein Klang in einer gewiſſen Zeit, z. B. in einer Sekunde, macht. Je mehr Schwingungen auf einerlei Zeit kommen, deſto höher, je weniger Schwingungen, deſto tiefer iſt der Ton. Von den tiefſten hörbaren Tönen bis zu den den höchſten hörbaren Tönen gibt es aber eine lange Reihe, in welcher der Ton, von dem man anfängt, der Grundton genannt wird, und wozu man den tiefſten hörbaren Ton, oder jeden andern annehmen kann. Aus dieſer langen Reihe ſind nur wenige für die Tonkunſt brauchbar. Dieſe werden durch Buchſtaben bezeichnet, und zum muſikaliſchen Gebrauch durch dazu gewählte Noten und Schlüſſel vorgeſtellt. So wie das Auge für ſymetriſche Verhältniſſe im Raume, auch ohne vorausgegangene Meſſung, ſchon von Natur empfänglich iſt, ſo iſt es mit dem Gehör für die Tonverhältniſſe beſchaffen, indem dieſes die verſchiedenen Geſchwindigkeiten empfindet, mit welchen die Schwingungen der tönenden Körper vor ſich gehen. Das Verhältniß der Schwingungsmenge zwiſchen zwei Tönen, oder, was daſſelbe iſt, das Verhältniß des Abſtandes zweier Töne rückſichtlich ihrer Höhe und Tiefe, nennt man ein Intervall. Die Intervalle laſſen ſich in Zahlen beſtimmen, wo dann dieſe die Verhältniſſe der Schwingungsmengen zwiſchen einem Ton und einem andern angeben.



Digitized by Google

Der Buchstaben, deren man sich in der Tonleiter zum musikalischen Gebrauche bedient, sind bekanntlich folgende: c (ut, Grundton, Prime, Uniſſon); d (re, Secunde); e (mi, Terze); f (fa, Quarte); g (sol, Quinte); a (la, Sexte); h (si, Septime). Der auf h folgende Ton, welcher der achte in der Reihe ist, wird wieder mit c bezeichnet, und die Octave genannt. Diese kann höher und tiefer als der Grundton seyn. Im ersten Falle heißt sie obere, im andern Falle die untere Octave. Die Entstehung dieser Buchstabenbezeichnung, und ihr Gebrauch für die verschiedenen nach und nach entstandenen Tonsysteme und Tonarten, so wie der Vorzeichen, deren man sich jetzt bedient, um den Charakter der Tonleiter, in Beziehung auf Härte und Weichheit (dur und moll), anzugeben, kann hier, wo es sich weder von einer Geschichte, noch eigentlichen Theorie der Musik handelt, zwar nicht weiter ausgeführt werden; allein nicht zu übersehen ist, daß jene acht Töne einem feinen Ohre nicht genügen konnten, und daß man, bei einiger Ausbildung der Musik, bald wahrnahm, daß es zwischen ihnen noch brauchbare andere Töne gebe. Nicht ganz passend nannte man diese zwischenliegenden Töne halbe Töne. Mit diesen besteht die ganze Tonleiter aus 12 Tönen, so daß die Octave den dreizehnten Ton ausmacht. Die Aufeinanderfolge ist nun diese:

c, der Grundton (Prime).
cis (des), die kleine Secunde.
d, die große Secunde.
dis (es), die kleine Terze.
e, die große Terze.
f, die Quarte.
fis (ges), die falsche Quinte.
g, die Quinte.
gis (as), die kleine Sexte.
a, die große Sexte.
b (ais), die kleine Septime.
h, die große Septime.
c, die Octave.

Vermittelst des Sonometers läßt sich die Vergleichung eines jeden Tons mit dem Grundton leicht begreiflich machen und dem Ohre einprägen. Am zweckmäßigsten sind hierzu zwei gleich lange Saiten, die gleiche Dicke haben, aus einerlei Materie bestehen, und von gleicher Spannung sind. Ist die Spannung scharf genug, damit die Schwingungen hinlänglich schnell erfolgen, so tönen die Saiten, wenn man sie aus ihrem Gleichgewicht herauszieht, und sie dann fahren läßt. Besser als mit dem Finger kann dieses durch Anschlagen mit einem Federkiel geschehen, weil dadurch die Schwingungen der Saiten freier vor sich gehen können. Hiernach lassen sich mit diesen Saiten folgende Versuche anstellen.

1) Man lasse die beiden Saiten ihrer ganzen Länge nach schwingen. Da angenommen ist, daß die Länge, Dicke, Materie und Spannung beider Saiten gleich sey, so müssen beide auch eine gleiche Menge von Schwingungen in einer Sekunde machen. Wie groß auch die Menge der Schwingungen an und für sich seyn mag, so kann man sich doch solche, zusammen genommen, als das Einfache vorstellen, indem man jede andere Anzahl von Schwingungen durch die Angabe, um wie vielmal sie für jede Sekunde größer oder kleiner sind, damit vergleicht. Man kann daher den Ton, den beide Saiten unter den angegebenen Umständen hören lassen,

Digitized by Google

als Grundton annehmen, ihn mit c bezeichnen, und sein Schwingungsverhältniß 1 nennen.

2) Man setze einen Steg, der nur eben so hoch ist, daß er die Saite stemmen kann, ohne sie merklich stärker anzuspannen, unter die eine Saite, genau in die Mitte. Jede Hälfte der Saite gibt jetzt für sich einen Ton, der dem Grundton ganz ähnlich ist, macht aber in einer Sekunde noch einmal so viele Schwingungen, weil, nach dem zweiten Schwingungsgesetz, die Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Saitenlängen verhalten. Dieser Ton, der nun wieder c, aber höher als der Grundton ist, bildet demnach die obere Octave des Grundtons. Weil aber die Menge der Schwingungen sich verdoppelt hat, so verhält sich der Grundton zu der obern Octave wie 1 zu 2.

3) Man setze den Steg unter die eine Saite genau im Drittel ihrer Länge, daß mithin der eine Theil der Saite noch einmal so lang, als der andere Theil wird. Der Ton, den beide Theile jetzt geben, wird die Quinte des Grundtons genannt, und ist g. Der eine Theil, der $^2/_3$ der Saite faßt, macht aber in derselben Zeit drei Schwingungen, in welcher die ganze Saite deren zwei macht. Demnach ist das Schwingungsverhältniß des Grundtons zu der Quinte, wie 2 zu 3. Der andere Theil, der $^1/_3$ der Saite hält, ist die obere Octave dieser Quinte, und also auch g. Da nun 1 zu 2 das Verhältniß der Quinte zu ihrer obern Octave ist, so verhält sich der Grundton zu diesem obern g, wie 1 zu 3.

4) Man setze den Steg unter die eine Saite genau im Viertel ihrer Länge, daß mithin der eine Theil der Saite dreimal so lang, als der andere Theil wird. Die $^3/_4$ der Saite, deren Ton die Quarte oder f ist, machen aber in derselben Zeit vier Schwingungen, in welcher von der ganzen Saite drei gemacht werden. Das Schwingungsverhältniß des Grundtons zu der Quarte ist demnach wie 3 zu 4. Das $^1/_4$ der Saite ist die Doppeloctave von c, also wieder c, und so verhält sich der Grundton zu diesem c, wie 1 zu 4.

5) Theilt man die Saite in 5 gleiche Theile, so daß der eine Theil $^3/_5$, der andere $^2/_5$ bekommt, so hat man in den $^3/_5$ die große Sexte oder a. Das Schwingungsverhältniß von c zu a ist demnach, wie 3 zu 5. Gibt man aber dem einen Theil $^4/_5$ und dem andern $^1/_5$, so geben die $^4/_5$ die große Terze oder e, und so ist das Schwingungsverhältniß von c zu e, wie 4 zu 5.

6) $^5/_6$ der Saite geben die kleine Terze oder dis, und so ist das Schwingungsverhältniß von c zu dis, wie 5 zu 6.

7) $^9/_{16}$ der Saite gibt die kleine Septime oder b. $^4/_7$ der Saite würde eine Septime geben, die nur sehr wenig höher als a ist. Diese ist aber für Pfeifenwerke und Saiteninstrumente nicht üblich; Blasinstrumente geben diesen Ton leicht.

8) $^8/_9$ der Saite geben die große Secunde oder d.

Auf diese Weise hat man die Schwingungsverhältnisse der ganzen Tonleiter zum Grundton aufgefunden, und so kann man umgekehrt für jeden Ton die Saitenlänge in Beziehung auf den Grundton aus diesen Verhältnissen angeben. Setzt man nämlich die Saitenlänge;

| | | | |
|---|---|---|---|
| für | c | = 1, | so ist sie |
| „ | cis | = $^{15}/_{16}$ | |
| „ | d | = $^8/_9$ | |
| „ | dis | = $^5/_6$ | |
| „ | e | = $^4/_5$ | |



Digitized by Google

für f . . . . . = 3/4,
„ fis . . . . . = 45/64
„ g . . . . . = 2/3
„ gis . . . . . = 5/8
„ a . . . . . = 3/5
„ b . . . . . = 9/16
„ h . . . . . = 8/15
„ c (Octave) . . . . . = 1/2
„ g (Quinte über der Octave) = 1/3
„ c (Doppeloctave) . . . = 1/4

Wenn mehrere Töne, deren Intervalle einfache Zahlenverhältnisse haben, zusammenklingen und zugleich gehört werden, so sind sie dem Ohre angenehm. Man nennt sie consonirende Töne, Consonanzen. Zu den vollkommenen Consonanzen rechnet man den Grundton, die Quarte, Quinte und Octave. Die große Terze, kleine Terze, große Sexte und kleine Sexte hält man für unvollkommene Consonanzen. Von Einigen wird auch die Quarte zu den unvollkommen consonirenden Tönen gerechnet. Tonverbindungen, deren Intervalle gegen den Grundton und gegen sich selbst consoniren, werden Accorde genannt. Mehrere Accorde, jeder von eigenthümlichem Klang sind eine Harmonie, und eine Reihe von Tönen, die in Höhe und Tiefe, Kürze und Länge angenehm abwechselt, eine Melodie. Töne, deren Intervalle weniger einfachen Zahlenverhältnissen entsprechen, thun dem Ohre weh, wenn sie zugleich gehört werden. Diese nennt man dissonirende Töne, Dissonanzen. Für vollkommene Dissonanzen hält man das Zusammenklingen des Grundtons mit der falschen Quinte, kleinen Secunde und großen Septime; mit der großen Secunde und kleinen Septime für unvollkommen dissonirend. Ueberhaupt aber ist die Menge dissonirender Töne unzählig. Auch ist es wahrscheinlich, daß das Gefühl für consonirende und dissonirende Töne keineswegs in dem mehr oder minder einfachen Verhältniß der Intervalle allein begründet sey, obschon man annehmen kann, daß der tiefere Grund zur Beurtheilung dieses eigenthümlichen musikalischen Gefühls schwerlich erforscht werden wird In einer musikalischen Composition, in welcher, nebst der Ordnung und Folge der Töne, auch der Tact, d. i. der Zeitabschnitt, den sie ausfüllen sollen, vorgeschrieben ist, sucht man die Töne, die dem Gefühle wohlthun und dem Charakter des Gegenstandes zusagen, zu einem Tonstück zusammenzusetzen. Je mehr der Componisteur es versteht, Dissonanzen durch darauf folgende Consonanzen geschickt und passend aufzulösen und zu den beabsichtigten Eindrücken zu benutzen, eine desto größere Gewalt übt seine Composition über den Zuhörer aus.

Der Erfahrung gemäß sind aber sehr hohe Töne eben so wenig als sehr tiefe dem Gehöre mehr wahrnehmbar. Wie groß aber die Anzahl der Schwingungen eines klingenden Körpers in einer Sekunde seyn müsse, um den tiefsten und höchsten hörbaren Ton hervorzubringen, darüber stimmen die Versuche und Angaben, wie auch leicht zu erachten, nicht völlig mit einander überein. Während einige der Meinung sind, daß 24 Schwingungen in einer Sekunde für den tiefsten, und 12800 für den höchsten hörbaren Ton erforderlich seyen, nehmen Andere dafür 40 und 8000, wieder Andere 30 und 30000 an. Büsch führt in seiner Mathematik die Beobachtung an, daß eine hänfene Schnur, deren Dicke etwa eine Linie betrage, einen Ton gebe, der dem tiefsten c in der Musik gleich komme,

Digitized by Google

wenn sie, zwischen zwei Nägel gespannt und mit einem Stabe auf ihre Mitte geschlagen, so schnell schwingt, daß zwölf Schwingungen auf eine Sekunde kommen. Derselbe führt auch einen Versuch mit einer messingenen Saite an, die 138 Fuß lang und $^1/_4$ Linie dick war, und die durch eine Kraft von 4 ℔ gespannt wurde. In diesem Zustand machte sie in einer Sekunde eine Schwingung. Halb so lang, kamen zwei, viertels so lang vier, achtels so lang acht, und ein Sechszehntel so lang sechszehn Schwingungen auf eine Sekunde. Erst letztere, wo also die Saite nur noch $8^5/_8$ Fuß lang war, waren hörbar. Verkürzte man sie noch einmal um die Hälfte, so daß sie nur noch $4^5/_{16}$ Fuß lang blieb, so war ihr Ton um eine Octave höher. Konnte man auch nunmehr ihre Schwingungen nicht mehr zählen, so war doch der Schluß, daß sie jetzt 32 Schwingungen in einer Sekunde gemacht habe, den vorausgegangenen Erscheinungen gemäß. Die bündigsten und vielfältigsten Versuche über diesen Gegenstand hat Chladni mit elastischen Stäben angestellt. Nach dieser Versuchen erfordert der tiefste hörbare Ton, der dem 32füßigen C der Orgeln gleich kommt, 32 Schwingungen in einer Sekunde, jedes folgende C aber doppelt so viele Schwingungen. Die Resultate dieser Versuche waren im Allgemeinen folgende:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Das | 32füßige | C | erfordert | in | 1 | Sekunde | 32 | Schwingungen, |
| „ | 16 | „ | C, | Contra-C | . | . . | 64 | „ |
| „ | 8 | „ | C, | große C | . | . . . | 128 | „ |
| „ | 4 | „ | c, | das ungestrichene | | c | 256 | „ |
| „ | 2 | „ | c, | das 1mal | | gestrichene | 512 | „ |
| „ | 1 | „ | c, | „ | 2 | „ „ . | 1024 | „ |
| „ | $^1/_2$ | „ | c, | „ | 3 | „ „ . | 2048 | „ |
| „ | $^1/_4$ | „ | c, | „ | 4 | „ „ . | 4096 | „ |
| „ | $^1/_8$ | „ | c, | „ | 5 | „ „ . | 8192 | „ |
| „ | $^1/_{16}$ | „ | c, | „ | 6 | „ „ . | 16384 | „ |

Letzteres ist der höchste hörbare Ton, und selbst schon kaum noch vernehmbar. Ein Sekundenpendel, das in einer Sekunde eine Schwingung macht, müßte also wenigsten 32 machen, wenn man seine Schwingungen hören, sollte. Könnte man es aber mit einer Schwingung in einer Sekunde hören, so müßte der Ton um fünf Octaven unter dem tiefsten Orgeltone liegen, und die Pfeife dazu müßte 32mal 32 = 1024 Fuß lang seyn.

So wie nun die Höhe und Tiefe eines Tons von der Menge der Schwingungen in einer Sekunde, also von der Geschwindigkeit derselben, abhängt, so hängt die Dauer des Tons von der Dauer der Schwingungen ab. Ein und derselbe Ton kann dabei schwächer oder stärker vorgetragen werden, was man durch piano und forte anzugeben pflegt. Wie stark aber der Ton eines Instruments an sich ist, dieses hängt mit dem größern oder geringern Grade der Elastizität des tönenden Körpers zusammen, zugleich aber auch von der Menge der schwingenden Theile ab. Um diese zu vermehren, bekommen die Saiteninstrumente einen Resonanzboden. In einem geschlossenen Raume sind die Umgebungen, die Wände, der Fußboden, die Decke, mehr oder weniger geschickt, Schall und Ton zu verstärken. In einem Saale, der auf Säulen ruhet und dessen Wände nicht tapezirt sind, klingen darum die Instrumente voller und kräftiger, als in einem Saale, dessen Boden nicht elastisch oder mit Teppichen belegt ist, und dessen Wände Tapeten haben. Aus eben dem Grunde klingen auch die Instrumente stärker in einem leeren Saale, als in einem, der mit Menschen angefüllt ist.

Digitized by Google

So klingen auch die Gläser am schönsten, die einen dünnen Stiel haben, und deren halbkuglichförmiger Kelch eine geringe Dicke hat, etwa wie die Römer, während Gläser, die hoch sind und lange Kelche haben, besonders wenn sie zugleich auch etwas dick sind, wie mitunter die Champagnergläser vorzukommen pflegen, schlecht klingen, und gar nicht, wenn sie gefüllt sind. Munke, der diese Erscheinung erwähnt, erklärt sie dadurch, daß bei diesen Gläsern die Schwingungsknoten einander zu nahe liegen, während die Masse der Theile, die in Schwingungen versetzt werden, bis zum Boden hin sehr groß ist.

Weil eine jede Saite an ihren Enden eine stärkere Spannung hat, als in der Mitte, so macht sie in verschiedenen Theilen ungleiche Schwingungen. Aus diesem Grunde ist auch kein Ton so einfach und rein, daß nicht nebenher noch andere Töne, bald mehr, bald weniger hörbar, mitklingen. Mit dem Grundton hört ein geübtes Ohr öfters auch die Octave, die Octave der Quinte und die Doppeloctave der Terze mit ansprechen, die sogenannten Klirrtöne. Bei Glocken, besonders bei großen, die einen tiefen Ton haben, findet dieselbe Erscheinung statt. Ein Saiteninstrument ist immer desto vollkommener, je weniger ein solches Mitklingen verwandter Töne gehört werden kann, je reiner es stimmt. Werden zwei Töne, die nicht im Einklang stehen, gleichzeitig angestimmt, so wird öfters auch noch ein dritter Ton, der tiefer ist, mit gehört, welcher der Tartinische oder Combinationston genannt wird. Am leichtesten entsteht dieser Ton durch zwei Orgelpfeifen, die um eine Quinte von einander verschieden sind. In den Zeittheilen, wo in den Luftwellen Verdichtungen oder Verdünnungen zusammentreffen, üben die Töne auf das Gehör eine verstärktere Wirkung aus, über welche, nebst anderen Akustikern, namentlich Scheibler, der diese Wirkung Stöße nannte, mit eigends dazu eingerichten Stimmgabeln viele Versuche anstellte.

Von wunderbarer Mannigfaltigkeit und höchst lieblicher Harmonie sind auch die Töne einer Aeolsharfe oder Windharfe. Dieses Instrument, welches bekanntlich aus mehreren über einen Resonanzboden gespannten und in gleichem Ton gestimmten Saiten besteht, tönt, wenn es in den Luftzug gestellt wird, so daß der Wind durch die Saiten streichen kann, höchst angenehm, bald schwächer, bald stärker, in abwechselnd wachsenden und verhallenden Tönen. Die durchströmende Luft, die bald in dickerer, bald in dünnerer Masse sich durch die Saiten drängt, und diese selbst wieder auf mannigfache Weise in Schwingungen versetzt, veranlaßt die mancherlei Töne, die der Harfe entlockt werden.

Anderer Art sind die Töne der chemischen Harmonika, aber auch diese werden durch Luftströmungen zu Wege gebracht. Wenn man nämlich das in einem Gefäße enthaltene Wasserstoffgas durch eine enge Röhre gehen läßt, es an der obern Mündung der Röhre entzündet, und eine etwas weite Röhre über die Flamme hält, so daß diese ein wenig hineinreicht, so hört man einen Klang eigenthümlicher Art, der sehr zart ist. Er entsteht durch das Zuströmen der atmosphärischen Luft, wenn diese durch das Brennen des Wasserstoffgases in der Röhre verzehrt wird, wodurch die in der Röhre befindliche Luft in Schwingungen geräth. Weil Wasserstoffgas, wenn es sich mit atmosphärischer Luft vermischt, eine Knallluft gibt (§ 133. III.), welche, sich entzündend, leicht das Gefäß und das Röhrchen zerschmettern kann, so ist bei diesem Versuche Vorsichtigkeit nicht überflüssig. Diese besteht hauptsächlich darin, daß man das aus dem

Digitized by Google

Röhrchen ausströmende Gas nicht eher entzündet, bis alle darin enthaltene atmosphärische Luft weg ist.

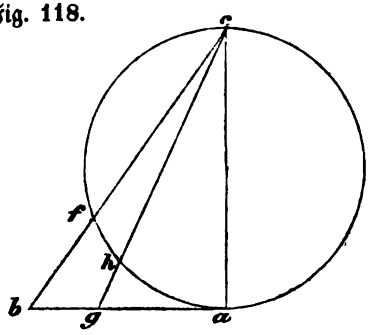
§ 144. (Allgemeine Darstellung der Schwingungsverhältnisse.) Obgleich jeder schallende Körper, wenn er hinlänglich schnell und regelmäßig schwingt, einen bestimmten Ton angibt, so sind doch gespannte Saiten besonders dazu geeignet, die Gesetze dieser Schwingungen, von deren Geschwindigkeit die Höhe und Tiefe des Tons ganz allein abhängt, deutlich zu entwickeln. In so fern nun eine gespannte Saite in gleich viel Zeit auch immer gleich viel Schwingungen macht, mithin, wie ein Pendel, gleichzeitig schwingt, so lassen sich auch die Schwingungen einer gespannten Saite mit der Schwungbewegung eines Pendels vergleichen, nur daß bei der Saite die Elastizität, bei dem Pendel aber die Schwere die bewegende Kraft ist.

Um diese Vergleichung einzusehen, muß man sich erinnern, daß die Fallhöhe eines freifallenden Körpers in irgend einer Anzahl Sekunden gefunden wird, wenn man das Quadrat der Fallzeit mit der Fallhöhe der ersten Sekunde multiplicirt (§ 49). Bezeichnet man nun die ganze Fallhöhe mit S, die ganze Fallzeit in Sekunden mit t, und die Fallhöhe für die erste Sekunde, wie dieses allgemein angenommen ist, mit g, so ist:

$$S = t^2 g.$$

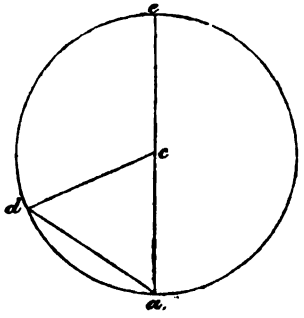
Auch ist bereits (§ 64) gezeigt worden, daß die Geschwindigkeit, die ein Körper erlangt, wenn er von einer schiefen Ebene herabfällt, am Ende des Falles gerade so groß seyn müsse, als sie seyn würde, wenn der Körper frei durch die senkrechte Höhe dieser schiefen Ebene gefallen wäre.

Fig. 118.




Sind nun cb und cg (Fig. 118) zwei schiefe Ebenen, deren gemeinschaftliche senkrechte Höhe ca ist, und beschreibt man einen Kreis, der diese ca zum Durchmesser hat, so muß der Körper auch diesen Durchmesser in eben der Zeit durchlaufen, in welcher er durch die schiefe Sehne cf oder ch oder jeder andern läuft. Hieraus geht das merkwürdige Gesetz hervor, daß ein Körper, der frei durch irgend eine Sehne eines Halbkreises herabfällt, dieses in eben der Zeit geschieht, in welcher er durch den senkrechten Durchmesser fiele. In derselben Zeit, in welcher das Pendel cd (Fig. 119) von d nach a geht, würde es auch von e nach a gehen. Bezeichnet man die Länge des Pendels cd mit h, so ist ea = 2h, und da dieses, in Beziehung auf die Wirkung der Schwerkraft, mit dem vorherigen S gleich bedeutend ist, so ist auch:

Fig. 119.




$$2h = t^2 g \text{ also } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Bezeichnet man die Länge eines andern Pendels mit L, und die Zeit eines Schwunges von d nach a mit T, so ist auch hier:

Digitized by Google

$$2L = T^2 g \text{ also } T = \sqrt{\frac{2L}{g}}.$$

Da aber die Bewegung eines Pendels nicht durch die Sehne, sondern durch den Bogen da geht, so hat man mit Hülfe der höhern Mathematik gefunden, daß die Zeit des Schwunges durch den Bogen sich verhalte zu der Schwungzeit durch die Sehne, wie sich der vierte Theil des Umkreises ($^1/_4 \pi$) zum Durchmesser (= 1) verhält. Demnach ist:

$$t : \sqrt{\frac{2h}{g}} = {}^1/_4 \pi : 1$$

$$\text{und } T : \sqrt{\frac{2L}{g}} = {}^1/_4 \pi : 1$$

$$\text{also } t = {}^1/_4 \pi \times \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$\text{und } T = {}^1/_4 \pi \times \sqrt{\frac{2L}{g}}$$

Hieraus ergibt sich ferner die Proportion:

$$t : T = {}^1/_4 \pi \times \sqrt{\frac{2h}{g}} : {}^1/_4 \pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$$

Wenn nun g in beiden Verhältnissen gleich ist, so ist auch

$$t : T = \sqrt{h} : \sqrt{L}$$

d. h. die Schwungzeit zweier Pendel verhält sich, wenn einerlei g stattfindet, wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen (§ 63). Daher verhalten sich die Pendellängen wie die Quadrate der Schwungzeiten, nämlich:

$$h : L = t^2 : T^2.$$

Ist aber die Fallhöhe in der ersten Sekunde für beide Pendel verschieden, ist sie für h = g und für L = G, so ist auch

$$t : T = \sqrt{\frac{h}{g}} : \sqrt{\frac{L}{G}}$$

Diese letzte Formel läßt sich auf gespannte Saiten übertragen. Da nämlich das, was bei einem Pendel g ist, bei gespannten Saiten durch Elastizität bewirkt wird, und diese desto größer wird, je mehr die spannende Kraft zunimmt, so sey die Länge einer Saite = h, die spannende Kraft = e, und die Schwungzeit = t. Von einer andern Saite, aus derselben Materie, sey die Länge = L, die spannende Kraft = E, und die Schwungzeit = T, so ist:

$$t : T = \sqrt{\frac{h}{e}} : \sqrt{\frac{L}{E}}$$

d. h. die Schwungzeit zweier ungleich gespannten und ungleich langen Saiten verhält sich, wie die Quadratwurzeln aus den Quotienten, die herauskommen, wenn man jede Länge durch ihre spannende Kraft dividirt. Da aber, wie bei dem Pendel, desto mehr Schwingungen auf einerlei Zeit kommen, je größer die Schwungkraft ist, mithin die Menge der Schwingungen sich umgekehrt wie die Schwungzeiten verhalten, so ist, wenn die Saite, deren Länge h und deren Spannkraft e bezeichnet ist, in t Sekunden n Schwingungen, und die andere in T Sekunden N Schwingungen macht:

$$n : N = T : t \text{ also auch}$$

$$n : N = \sqrt{\frac{L}{E}} : \sqrt{\frac{h}{e}} = \sqrt{\frac{e}{h}} : \sqrt{\frac{E}{L}}$$

Digitized by Google

Verschieden von den Schwingungen eines Pendels sind jedoch die einer gespannten Saite darin, daß bei jenen die Masse nicht in Betracht kommt (§ 63), bei dieser hingegen die spannende Kraft um so geringer wirken muß, auf je mehr Masse sie zu wirken hat. Hat nun die eine Saite, deren Länge h ist, die Masse m, und die andere, deren Länge L ist, die Masse M, so ist:

$$n : N = \sqrt{\frac{e}{mh}} : \sqrt{\frac{E}{ML}}$$

Haben beide Saiten gleiche Masse und gleiche Länge, so ist m = M und h = L; daher ist nunmehr:

$$n : N = \sqrt{e} : \sqrt{E}$$

welches das IV. Gesetz war (§ 142).

Haben beide Saiten gleiche Länge und gleiche Spannung, so ist h = L und e = E; daher ist jetzt:

$$n : N = \sqrt{\frac{e}{mh}} : \sqrt{\frac{e}{Mh}} \text{ d. i.}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{m}} : \frac{1}{\sqrt{M}}$$

Wegen der cylindrischen Gestalt der Saiten kann man aber m und M dadurch bestimmen, daß man das Quadrat des Durchmessers mit der Saitenlänge und das Product mit $^{314}/_{400}$ multiplicirt. Ist nun der Durchmesser für m = d und für M = D, so ist auch:

$$n : N = \frac{1}{\sqrt{d^2h \times \frac{314}{400}}} : \frac{1}{\sqrt{D^2h \times \frac{314}{400}}}$$

$$\text{also } n : N = \frac{1}{\sqrt{d^2}} : \frac{1}{\sqrt{D^2}} \text{ d. i.} = \frac{1}{d} : \frac{1}{D}$$

daher n : N = D : d.

Demnach verhält sich die Anzahl der Schwingungen für Saiten, deren Länge und Spannung gleich ist, umgekehrt wie die Durchmesser der Saiten. Dieses war das III. Gesetz.

Haben beide Saiten gleiche Dicke und gleiche Spannung, so ist d = D und e = E; daher geht jetzt die Proportion

$$n : N = \sqrt{\frac{e}{mh}} : \sqrt{\frac{e}{mL}}$$

in folgende über:

$$n : N = \sqrt{\frac{e}{d^2h \times \frac{314}{400} \times h}} : \sqrt{\frac{e}{d^2L \times \frac{314}{400} \times L}}$$

$$\text{also } n : N = \frac{1}{\sqrt{h^2}} : \frac{1}{\sqrt{L^2}} \text{ d. i.} = \frac{1}{h} : \frac{1}{L}$$

daher n : N = L : h

d. h. es verhält sich die Anzahl der Schwingungen für Saiten, deren Dicke und Spannung gleich ist, umgekehrt wie die Länge der Saiten. Dieses war das II. Gesetz.

Aendert man die Proportion:

$$n : N = \sqrt{\frac{e}{mh}} : \sqrt{\frac{E}{ML}}$$

in folgende ab:

$$n : N = \sqrt{\frac{e}{d^2h \times \frac{314}{400} \times h}} : \sqrt{\frac{E}{D^2L \times \frac{314}{400} \times L}}$$

Digitized by Google

$$\text{also } n : N = r\frac{e}{d^2h^2} : r\frac{E}{D^2L^2}$$

$$\text{daher } n : N = \frac{re}{dh} : \frac{rE}{DL}$$

so hat man das allgemeine Gesetz, daß sich die Schwingungszahlen zweier Saiten verhalten, wie die Quadratwurzeln aus der Spannung dividirt durch ein Produkt, dessen Faktoren der Durchmesser und die Länge sind.

Auch für Metallstäbe und Glocken hängt, wie bei Saiten, die Höhe und Tiefe des Tons von ihrer Länge und Dicke, zugleich aber auch von dem Gefüge, als spannende Kraft, und die Stärke des Klanges von der Menge der schwingenden Elementartheilchen oder der Dichtigkeit der Masse ab. Bei Stäben von gleicher Masse und gleicher Länge verhält sich die Tonhöhe wie die Dicke. Ein Stab, der doppelt so dick ist, als ein anderer gibt auch einen doppelt so hohen Ton. Sind die Stäbe gleich dick, so verhält sich die Tonhöhe umgekehrt wie die Quadrate der Länge. Ein Stab, der doppelt so lang, als ein anderer ist, macht daher viermal weniger Schwingungen, und gibt sonach einen um zwei Octaven tiefern Ton, als der halb so lange Stab. Hierauf beruhet auch die Einrichtung der Stahlgeläute, die zuerst an einigen Orten in Nordamerika und neuerlich auch hier und da in Deutschland Eingang fanden, wo Stahlstäbe in Form von Stimmgabeln durch hölzerne Hämmer angeschlagen werden, und stark und voll tönen, dabei viel leichter als Glocken sind, und kaum $^1/_5$ so viel kosten. Bei offenen Orgelpfeifen verhalten sich die Töne ebenfalls wie die Längen der Pfeifen, von ihrer untersten Mündung an, bis an das Ende gerechnet, allein die Dicke der Pfeife hat keinen merklichen Einfluß darauf.

Ist die Pfeife am obern Ende gedackt (zugedeckt), so gibt sie die tiefere Octave des Tons, den sie offen geben würde.

§ 145. (Temperatur.) Da sich die Schwingungen der Saiten, wenn sie bloß der Länge nach verschieden sind, umgekehrt wie die Längen verhalten (§ 142), so folgt, daß die Haupttöne, nämlich: Grundton, Secunde, Terze, Quarte, Quinte, Sexte, Septime, Octave, d. i. C, D, E, F, G, A, H, c, deren Saitenlängen = 1, $^8/_9$, $^4/_5$, $^3/_4$, $^2/_3$, $^3/_5$, $^8/_{15}$, $^1/_2$ ist (§ 143), folgende Schwingungsverhältnisse haben. In derselben Zeit nämlich, in welcher der Grundton C seine Schwingungen einmal macht, werden von D $^9/_8$, von E $^5/_4$, von F $^4/_3$, von G $^3/_2$, von A $^5/_3$, von H $^{15}/_8$ und von c 2 ihrer Schwingungen gemacht. In ganzen Zahlen ist daher dieses Verhältniß folgendes:

| | | |
|---|---|---|
| C : D = 8 : 9; | Saitenlänge = | 9 : 8. |
| C : E = 4 : 5; | " = | 5 : 4. |
| C : F = 3 : 4; | " = | 4 : 3. |
| C : G = 2 : 3; | " = | 3 : 2. |
| C : A = 3 : 5; | " = | 5 : 3. |
| C : H = 8 : 15; | " = | 15 : 8. |
| C : c = 1 : 2; | " = | 2 : 1. |

d. h. in derselben Zeit, in welcher der Grundton 8 Schwingungen macht, bei einer Saitenlänge von beispielsweise 9 Fuß, macht die Sekunde 9 Schwingungen mit 8 Fuß Saitenlänge u. s. w. Einen andern Ausdruck in ganzen Zahlen, jedoch von völlig gleichem Verhältniß für die Schwingungen erhält man dadurch, daß man die ganze Reihe von C bis c auf

Digitized by Google

den Hauptnenner 24 bringt, nämlich 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48; dagegen dann für die Saitenlängen, wo der Hauptnenner 180 ist, sich folgende Reihe bildet: 180, 160, 144, 135, 120, 108, 96, 90. In dieser Tonleiter, die man die harte Tonleiter des diatonischen Tonsystems nennt, und in welcher C der Grundton ist, verhält sich demnach die Anzahl der Schwingungen von:

$$\begin{array}{lllllll} C & \text{zu} & D = & 1 : & 9/8 = & 8 : & 9 \\ D & \text{„} & E = & 9/8 : & 5/4 = & 9 : & 10 \\ E & \text{„} & F = & 5/4 : & 4/3 = & 15 : & 16 \\ F & \text{„} & G = & 4/3 : & 3/2 = & 8 : & 9 \\ G & \text{„} & A = & 3/2 : & 5/3 = & 9 : & 10 \\ A & \text{„} & H = & 5/3 : & 15/8 = & 8 : & 9 \\ H & \text{„} & c = & 15/8 : & 2 = & 15 : & 16. \end{array}$$

Das diatonische Tonsystem stellt demnach nur drei verschiedene Verhältnisse von einem Ton zum andern auf. Das Verhältniß 8 zu 9 nennt man das Intervall eines großen ganzen Tons; 9 zu 10 das Intervall eines kleinen ganzen Tons; 15 zu 16 das Intervall eines halben Tons. Insbesondere nennt man auch C, E, G, deren Schwingungszahlen 4, 5, 6 sind, (da $E : G = 5/4 : 3/2 = 5 : 6$ ist) den großen Dreiklang. Sollte nun die Tonleiter völlig rein stimmen, so müßte C zu D sich verhalten, wie E zu F u. s. w., was aber nicht der Fall ist. Dieses findet immer statt, man mag zum Grundton einen Ton annehmen, welchen man will. Darum hat man zwischen jedes Paar Töne, die das Intervall eines großen oder kleinen ganzen Tons haben, die Zwischentöne cis, dis u. s. w. eingeschaltet, und nimmt dabei an, daß C zu Cis sich verhalte wie Cis zu D, wie D zu Dis u. s. w. Würden hiernach die Intervalle in Beziehung auf einen Grundton auch völlig rein, so wären sie jedoch in einer andern Tonleiter, die einen andern Grundton hätte, schon nicht mehr, und es würde denn auch nicht mehr angehen, jeden beliebigen Ton zum Grundton zu machen. Daher vertheilt man diese Unvollkommenheit so, daß zwar für keinen Grundton die Stimmung ganz rein ist, daß sie aber durchaus unmerklich wird. Da nun die Octaven, bei welchen das Ohr keine Abweichung verträgt, rein seyn müssen, so werden dagegen alle Quinten unter sich etwas zu klein, die großen Tertien etwas zu groß, die kleinen ewas zu klein genommen. Diese Vertheilung nennt man die Töne temperiren, den Tönen eine Schwebung geben, und in so fern alle Intervalle gleiches Namens gleich stark schweben, so wird sie die gleichschwebende Temperatur genannt, zum Unterschied einer andern, welche eine ungleichschwebende ist.

§ 146. (Die menschliche Stimme.) Obgleich die Säugethiere, die Vögel und vierfüßige Amphibien ebenfalls mit Stimmwerkzeugen versehen sind, so ist ihnen doch durchaus der hohe Grad von Vollkommenheit, welcher der menschlichen Stimme eigen ist, gänzlich versagt. Dieses anatomisch und physiologisch zu untersuchen, gehört nun freilich nicht hierher, desto eher aber einige Notizen über die menschliche Stimme insbesondere. Wie bei den mit Stimmwerkzeugen begabten Thieren überhaupt, ist auch für die menschliche Stimme die Luft der schallende Körper. Die Töne der menschlichen Stimme werden in dem obern Theile der Luftröhre, den man den Luftröhrenkopf (larynx) nennt, gebildet, und in der Nase und im Munde, durch Gaumen, Zunge, Zähne und Lippen auf höchst mannigfaltige Weise modificirt und verändert. Der Luftröhrenkopf, der etwas weiter

Digitized by Google

als die Luftröhre ist, erhält durch diese die zur Bildung der Stimme erforderliche Luft, und ist dergestalt beweglich, daß er für höhere Töne sich aufwärts, für tiefere abwärts zieht. Gegen das Eindringen von Speisen und Getränken, die durch die Schlundröhre, welche dicht an der Luftröhre anliegt, dem Magen zugeführt werden, ist er durch einen beweglichen Deckel (epiglottis) gesichert, der ihn ganz verschließen kann. Unter diesem Deckel befinden sich zwei gleich große Häute, von denen jede die Form eines Halbkreises hat; man nennt sie die Kehlbänder (ligamenta glottidis). Die erhabenen Ränder dieser Häute sind mit den innern Wänden des Luftröhrenkopfs verbunden. Beide Häute können sich zu einem ganzen Kreise so schließen, daß sie nicht die geringste Luft durchlassen, können sich aber auch etwas von einander entfernen, wo sie dann eine linsenförmige Oeffnung bilden, die man die Stimmritze (glottis) nennt, und die als das eigentliche Stimmwerkzeug zu betrachten ist. Die Luft aus den Lungen geht durch die Luftröhre und die Stimmritze und vereinigt sich mit der in der Nase und im Munde eingeschlossenen Luft. So lange die Ritze weit genug ist, um die Luft leicht durchströmen zu lassen, hört man keinen Laut. So wie aber die Kehlbänder sich mehr zusammenziehen und also die Ritze verengert wird, so muß die Luft sich mit Gewalt durchpressen, wodurch die Kehlbänder erzittert werden, und nun ihrerseits die Luft in ähnliche Bewegung versetzen, und so die Stimme bilden. Je mehr die Kehlbänder sich zusammenziehen und anspannen, desto schneller werden ihre und die Erzitterungen der Luft, und desto höher denn auch der Ton. Je mehr sie sich erweitern und nachlassen, desto größer wird die Ritze, die Erzitterungen erfolgen langsamer, und der Ton wird tiefer. Ist die Ritze $^1/_{12}$, höchstens $^1/_{10}$ Zoll weit, so hört die Stimme auf. Wenn es wahr ist, daß es Menschenstimmen gibt, die von einem Tone zum andern durch 100 Zwischentöne gehen können, so muß die Stimmritze für die ganze Tonleiter hindurch, 1200 verschiedene Oeffnungen, von denen jede noch nicht $^1/_{10}$ Zoll beträgt, anzunehmen vermögen. Es muß allerdings unser Erstaunen erregen, wenn wir die äußerst feine Bildung dieses Werkzeugs bedenken, und mit der außerdentlichen Fertigkeit und Genauigkeit, mit welcher jede Tonveränderung dadurch hervorgebracht werden kann, zusammenhalten. Da Frauen und Kinder einen verhältnißmäßig kleinern Luftröhrenkopf und eine kürzere Stimmritze als Männer und Jünglinge haben, so ist eben darum bei jenen die Stimme höher als bei diesen. Uebrigens hängt der Umfang der menschlichen Stimme, der überhaupt etwa durch drei Octaven reicht, für eine und die nämliche Stimme aber an vollen klangreichen Tönen nicht leicht über zwei Octaven umfaßt, theils von der Dicke der Kehlbänder, theils von ihrer Fähigkeit sich schnell zu erweitern und verengern, ab. Das richtige Verhältniß der einzelnen Theile der Stimmwerkzeuge bei gehöriger Glätte, Zartheit und Geschmeidigkeit bestimmt den größern und geringern Grad der Anmuth der Stimme, und eben hierin liegt der Grund der wunderbaren Verschiedenheit von einem Menschen zum andern. Wie sehr aber auch hier der Mensch durch Aufmerksamkeit und Uebung der Natur nachzuhelfen vermag, dazu liefert die Geschichte manche Belege, und selbst der berühmte Redner Demosthenes kann als Beleg dienen, wie weit selbst schwache Stimmen durch Ausbildung und Uebung es zu bringen vermögen.

§. 147. (Fortpflanzung des Schalles.) In den meisten Fällen steht der schallende Körper nicht unmittelbar mit unserm Ohr in Verbindung, son-

Digitized by Google

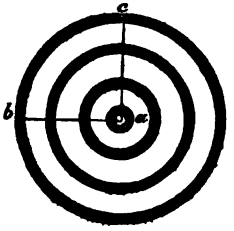
dern deſſen Schall geht erſt, ehe er das Gehör erreicht, noch durch andere zwiſchenliegende Körper, die ihn weiter zu tragen und ſeine Wahrnehmung zu vermitteln vermögen. Die Schwingungen eines ſchallenden Körpers müſſen demnach auf andere Körper, von denen ſie rings umgeben ſind, übergehen können, wenn ſie von denſelben fortgeleitet, und ſodann dem Ohre wahrnehmbar werden ſollen. Der Schall muß ſich fortzupflanzen fähig ſeyn.

Da der Schall nur durch wellenförmige pendelartige Schwingungen wägbarer elaſtiſcher Körper bewirkt wird, ſo kann auch der leere Raum kein Schallleiter ſeyn (§ 122; 25). Dagegen aber ſind, der Erfahrung gemäß, alle feſte, tropfbarflüſſige und luftförmige Körper zur Fortleitung des Schalles fähig, obſchon der Grad dieſer Leitungsfähigkeit nicht bei allen Arten von Körpern der nämliche iſt. Im Allgemeinen leiten feſte und tropfbarflüſſige Körper, obgleich letztere für ſich ſelbſt nicht zu den ſchallenden Körpern gehören, den Schall beſſer als die luftförmigen Körper fort, indeſſen die atmoſphäriſche Luft das gewöhnlichſte Fortpflanzungsmittel iſt.

Die gewöhnliche Vorſtellung, die man ſich von der Fortpflanzung des Schalles durch andere Körper macht, beruht auf der Annahme, daß die Schwingungen eines ſchallenden Körpers, die auf Theile eines andern Körpers treffen, dieſe zuſammenpreſſen. Indem nun die zuſammengepreßten Theile ſich wieder ausdehnen, drücken ſie ihrerſeits wieder andere Körpertheile. Durch dieſe wechſelſeitigen Zuſammenpreſſungen und Ausdehnungen werden die Körpertheile, die davon betroffen werden, in Schwingungen verſetzt, die den Schwingungen des urſprünglich ſchallenden Körpers ähnlich ſind, und ſo der Schall überall hin, und mithin rings um den ſchallenden Körper fortgepflanzt und nach entfernten Oertern geleitet.

Was insbeſondere die Fortpflanzung des Schalles durch die atmoſphäriſche Luft, welche die gewöhnliche Fortleitungsmaterie iſt, betrifft, ſo ſcheint dieſe, ihrer großen Expanſibilität wegen, vorzüglich dazu geeignet zu ſeyn, den Schall zugleich auch am reinſten und in ſeinen feinſten Abſtufungen fortzupflanzen. Wenn nämlich ein ſchallender Körper zu ſchwingen beginnt, ſo wird dadurch die Luft rings um ihn her zuſammengepreßt und verdichtet, aber ſogleich auch wieder ausgedehnt und verdünnt. Wie in einem ruhigen Waſſer, in welches man einen Stein hineinwirft, kreisförmige Wellen entſtehen, deren Peripherie von dem Punkte an, wo ſie entſtehen, und der ihr gemeinſamer Mittelpunkt iſt, immer größer wird, bis ſie endlich in ziemlicher Entfernung ſich verlieren (§ 95), ſo werden durch dieſe raſch aufeinander folgenden und in ſtetem Wechſel begriffenen Verdichtungen und Verdünnungen der Luft ebenfalls Wellen gebildet, die man Schallwellen nennt (Fig. 120). An Geſchwindigkeit übertreffen ſie bei weitem jene Waſſerwellen, und weil ſie rings um den ſchallenden Körper ſtattfinden, ſo ſind es auch nicht bloße Flächen, wie die Waſſerwellen, ſondern kugeliche Wellen, deren gemeinſchaftlicher Mittelpunkt an der Stelle liegt, wo der Schall entſtanden iſt. Die Dicke einer jeden einzelnen Welle wird hier ihre Länge, und jede gerade Linie, welche auf die Schallwellen ſenkrecht iſt, wird ein Schallſtrahl genannt, wie ab, ac u. ſ. w. Dieſe Schallſtrahlen, in deren

Fig. 120.




Digitized by Google

Richtung man gewöhnlich den Schall am stärksten hört, weisen daher auch in den meisten Fällen auf die Gegend hin, wo der schallende Körper sich befindet. Die von den Gebrüdern Weber, Seebeck u. A. mittelst Versuche, besonders mit Stimmgabeln, wahrgenommenen Schwächungen und Unterbrechungen in der Fortpflanzung des Schalles, welche Erscheinung die Interferenz genannt wird, ereignet sich, bei den wellenförmigen Schwingungen der Luft, an den Stellen, wo der verdichtete Theil einer Schallwelle mit dem verdünnten Theil einer andern Schallwelle gleichzeitig zusammentrifft, so wie dagegen eine Verstärkung des Schalles an den Stellen bemerkbar wird, wo zwei Schallwellen entweder in ihren verdichteten oder verdünnten Theilen in gleicher Zeit zusammentreffen.

Ein merkliches Fortrücken der einzelnen Lufttheilchen, ein Fortrücken, wo sie ihre Stellen merklich veränderten, kann aber bei der Bildung der Schallwellen nicht stattfinden. Dieses läßt sich dadurch einsehen, daß eine Lichtflamme, die neben einen stark tönenden Körper, z. B. eine tönende Glocke, gehalten wird, sich nicht bewegt, so wie dadurch, daß man mehrere Schälle auf einmal und zu gleicher Zeit hören und unterscheiden kann. Strömte die Luft fort, so würde man in solchen Fällen nur ein Getöse hören, aber keine ordentliche Schälle und Klänge unterscheiden können, und es daher auch nicht möglich seyn, bei einem Concert ein Instrument vor dem andern zu hören. Auch hierin haben die Schallwellen Aehnlichkeit mit den Wasserwellen, welche entstehen, wenn mehrere Steine in geringer Entfernung von einander in ein ruhiges Wasser geworfen werden. Die Wellen werden sich dann mannigfach durchschneiden, ohne sich in einander zu verwirren.

Diese Wellentheorie, die Newton zuerst aufgestellt hat, läßt sich auch auf die Fortpflanzung des Schalles in andern Körpern übertragen, da es ja der Erfahrung nach gewiß ist, daß Gase, Dünste, tropfbare und feste Körper den Schall ebenfalls fortleiten, wie dann schon folgende Beispiele es bewähren:

1) Im luftleeren Raume hört man den Schall einer Glocke, wenn Gase oder Dünste hinein geleitet werden.

2) Wenn Jemand an dem einen Ende eines langen Balkens so leise anschlägt, daß man am andern Ende fast nichts davon hört, so wird man den Schall sogleich deutlich hören, wenn man das Ohr unmittelbar an das andere Ende des Balkens anlegt.

3) Durch eine, nicht gar zu dicke Wand, kann man, wenn es stille um einen her ist, den Pendelschlag einer Wanduhr, ein leises Klopfen mit dem Finger, sogar den leisen Schlag einer Taschenuhr hören.

4) Den Schlag einer Taschenuhr kann man mit verstopften Ohren hören, wenn man entweder den Biegel, oder das Ende einer irdnen Tabackspfeife, oder eines Metallstäbchens zwischen die Zähne nimmt, und mit dem andern Ende die Uhr berührt.

5) Wenn man einen eisernen Stab, eine Scheere; eine Zange und dergl. an einen Faden bindet, diesen mit den Zähnen festhält, und den angebundenen Körper frei schwebend gegen eine harte Wand, oder einen Stab anschlagen läßt, so hört man den Schall bei verstopften Ohren.

6) Den leisen Schlag einer Taschenuhr hört man am Ende eines sehr langen Brettes mit verstopften Ohren, wenn die Uhr auf dem einen Ende liegt, und das andere Ende mit den Zähnen gefaßt wird. Nur muß das Brett mit beiden Enden aufliegen, sonst aber ohne Unterlage seyn.

Digitized by Google

7) So hört man auch die Töne eines Klaviers weit stärker bei verstopften Ohren, wenn man ein eisernes, hölzernes oder sonst ein elastisches Stäbchen zwischen den Zähnen und an den Resonanzboden hält.

Alle diese Versuche, denen noch mehrere beigefügt werden könnten, beweisen, daß der Schall durch feste Körper fortgepflanzt werden kann. Auch ist es eine bekannte Erfahrung, daß man auf freiem Felde ein entferntes Geräusch, z. B. Wagengerassel, Huftritte der Pferde, Kanonendonner u. s. w. weit besser hört, wenn man das Ohr an die Erde legt. Harthörige verstehen, was gesprochen wird, wenn man in einen kupfernen Kessel hinein spricht, dessen Rand sie mit einem Stabe berühren, den sie mit den Zähnen halten. Glockengeläute, Musik, heftige Reden können, von der Straße aus, bei verschlossenen Thüren und Fenstern gehört werden. Völlig unelastische Körper sind jedoch zur Fortpflanzung des Schalles eben so ungeschickt, als sie es zu dessen Hervorbringung sind.

Auch Wasser und andere liquide Körper sind fähig, den Schall fortzuleiten. Man hört unter Wasser, wenn außerhalb gerufen oder gelärmt wird. Einen Büchsenschuß kann man noch zwölf Fuß tief unter Wasser hören. Eben so hört man auch in der Luft den Schall, der im Wasser entsteht, wie man leicht erfahren kann, wenn man eine Glocke unter Wasser erklingen läßt. Noch stärker hört man den Schall im Wasser, wenn er unter dem Wasser entstanden ist.

Durch welches Mittel aber auch der Schall fortgepflanzt wird, immer braucht er doch einige Zeit, um von dem Ort seiner Entstehung bis zum Ohre zu gelangen. Newton hat diese Zeit, in Beziehung auf die atmosphärische Luft, als das vorzüglichste Fortpflanzungsmittel, durch Rechnung zu bestimmen gesucht. Genauere Resultate sind durch angestellte Versuche darüber aufgefunden worden. Mit großer Umsicht wurden diese Versuche durch die französischen Akademiker Cassini, Maraldi und de la Caille im Jahr 1738 zwischen Montlhery und Montmartre, die 87816 Pariser Fuß, beinahe vier deutsche Meilen auseinanderliegen, angestellt. Man ging dabei von der Erfahrung aus, daß die Geschwindigkeit, mit welcher das Licht sich fortpflanzt, gegen die Geschwindigkeit des Schalles so unendlich groß ist, daß für jene Fortpflanzung von einem Ort der Erde zu einem andern, wären sie auch noch so weit auseinander, fast gar keine Zeit verfließt. Von einer Kanone, die man zur Nachtzeit auf dem einen Standpunkte losbrannte, sah man daher den Blitz augenblicklich am andern Standort, den Knall aber hörte man später. Die Zwischenzeit zwischen Blitz und Knall konnte mit Hülfe einer guten Sekundenuhr bestimmt werden. Vielfache Wiederholungen dieser Versuche, unter denen die durch Parry und Forster im Jahre 1824 und 1825 im hohen Norden angestellten Versuche zu den wichtigsten gehören, haben dann ergeben, daß der Schall mit einer Geschwindigkeit von etwa 1040 Pariser Fuß für eine Sekunde sich fortpflanze, daß seine Geschwindigkeit überhaupt eine gleichförmige ist (§ 36), und gleich bleibt für alle Töne, es mögen diese hoch oder tief seyn. Kann man hiernach bei einem Gewitter zwischen Blitz und Donner 12 Sekunden zählen, so ist die Gewitterwolke noch 12480 Pariser Fuß, oder mehr als eine halbe Meile weit weg. Uebereinstimmende Resultate haben zwar diese Versuche, die man auch anderwärts deßhalb angestellt hat, nicht gegeben, allein ihre Abweichungen, die mitunter mehr oder minder beträchtlich sind, liegen in schwer zu bestimmenden Umständen, wahrscheinlich auch in der größern und geringern Genauigkeit des Verfahrens. Ist die Luft nur ruhig, so ändert sich die

Digitized by Google

Geschwindigkeit des Schalles nicht merklich ab, es mag Tag oder Nacht, der Himmel bedeckt oder heiter, und, was am auffallendsten ist, der Schall schwach oder stark seyn, obgleich dieser auf eine größere Entfernung sich ausdehnen und weiter gehört werden kann. Vom Wind hingegen wird die Geschwindigkeit des Schalles verändert; geht der Schall in der Richtung des Windes, so wird seine Geschwindigkeit dadurch etwas vergrößert, im umgekehrten Falle etwas verkleinert, jedoch in beiden Fällen nur von geringem Belang. Auch die Wärme und Kälte der Luft ist nicht ohne Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalles, dessen Weg für jeden steigenden Grad des 80 theiligen Queckfilberthermometers etwa um 2 Fuß vermehrt wird. Nach Biot beträgt die Schallgeschwindigkeit, wenn es eben friert, nur 1026 Pariser Fuß in einer Sekunde, und nach den Versuchen, die Benzenberg im Jahr 1809 und 1811 angestellt hat, 1028 Pariser Fuß, und nach denen von Moll im Jahr 1823 angestellten Versuchen etwa nur 1024 Pariser Fuß. Wie lang bei jeder Geschwindigkeit eine Schallwelle seyn müsse, kann man dadurch bestimmen, wenn man die Geschwindigkeit des Schalles durch die Anzahl der Schwingungen dividirt, welche von dem schallenden Körper in einer Sekunde gemacht wird, weil immer so viele Schallwellen in der Luft sich bilden, als die Anzahl dieser Schwingungen mit sich bringt. Ist diese Anzahl 1040 und eben so groß auch die Geschwindigkeit, so ist die Länge einer Schallwelle = 1 Fuß; ist jene nur 520 Fuß, so ist dagegen die Länge einer Schallwelle = 2 Fuß. Wäre diese Anzahl = 16 Fuß, so ist hier eine Schallwellenlänge = 65 Fuß, und so ist sie für das 6 gestrichene c der Orgelpfeifen (§ 143) nur 0,062 Fuß lang.

Es leidet jedoch keinen Zweifel, daß bei dichterer Luft stärkere Schallwellen sich bilden müssen. als zur Zeit, wo die Luft dünner ist, weil jene der Bildung der Schallwellen mehr Widerstand leistet. Daraus ließ sich dann ableiten, daß der Schall in dünner Luft nicht so stark seyn kann, als wenn die Luft dichter ist, daß er daher auch auf dem Gipfel hoher Berge schwächer seyn muß, als im Thale, was auch der Erfahrung gemäß ist. Auch tönt eine Glocke heller, wenn die Luft heiter und trocken, als wenn sie feucht und weniger elastisch ist. Der Erfahrung nach leitet auch die Luft, wenn sie an Elastizität zunimmt, wie z. B. an heiteren Wintertagen oder bei heiterer warmer Witterung, den Schall am ungeschwächtesten fort.

Bei weitem unbestimmter ist das Gesetz über die Fortpflanzung des Schalles durch feste und liquide Körper. Feste elastische Körper sollen, nach Chladni, den Schall in eben der Zeit fortpflanzen, in welcher sie frei aufgehängt eine Longitudinalschwingung machen, was bei einigen Körpern, besonders bei Blasinstrumenten, wo die Luft selbst der tönende Körper ist, ziemlich zutrifft. Chladni hat, auf diesen Satz gestützt, die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in der Luft und in festen Körpern mit einander verglichen, und gefunden, daß einige feste Körper den Schall 16 bis 17mal geschwinder fortleiten, als die Luft. Als im Jahr 1808 die großen Wasserleitungen zu Paris wieder hergestellt wurden, benutzte Biot diese Gelegenheit zu Versuchen über das Verhältniß für die Geschwindigkeit der Schallleitung durch Gußeisen und durch Luft. Vermittelst eines Hammers, der so angebracht war, daß er zugleich einen Ton in einer Glocke und der festen Röhrenwand hervorbringen mußte, fand sich, daß von der Wahrnehmung des Schalles durch die eiserne Röhre, deren Länge etwas über 2928 Pariser Fuß betrug, bis zur Wahrnehmung des Schalles

Digitized by Google

durch die Luft bei gleicher Länge 2,51 Sekunden vergingen. Da nun der Schall in freier Luft, wenn man 1040 Pariser Fuß für den Weg in einer Sekunde rechnet, zu 2928 Pariser Fuß, 2,81 Sekunden braucht, so ging er in 0,30 Sekunden durch die Röhre, folglich fast zehnmal geschwinder als durch die Luft. Selbst für verschiedene Luftarten ist die Geschwindigkeit des Schalles verschieden. In Sauerstoffgas und in Salpeterluft z. B. ist die Geschwindigkeit des Schalles etwas größer, in Wasserstoffgas und kohlensaurer Luft merklich kleiner als in der atmosphärischen Luft. Ueber den Grad der Leitungsfähigkeit des Schalles vieler Körper hat Perolle zu Turin viele Versuche angestellt. Diesen gemäß folgen die Körper so aufeinander: Weißtanne, Brasilienholz, Burbaum, Eiche, Kirschbaum, Kastanie, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei, Darm, Haar, Seide, Hanf, Flachs, Wolle, Baumwolle. Daß Hölzer den Schall besser als Metall leiten, rührt vielleicht von der größern Menge Luft her, die sie enthalten. Derselbe stellte auch Versuche über die Fortpflanzung des Schalles durch tropfbare Flüssigkeiten an. Den Schlag einer Taschenuhr, den er in freier Luft auf 8 Fuß weit hören konnte, hörte er auf 20 Fuß weit, wenn die Uhr an einem Faden hing, und unter Wasser getaucht war; in Baumöl getaucht, hörte er sie auf 16 Fuß, in Terpentinöl auf 14 Fuß, in Weingeist auf 21 Fuß weit. Nach einer von Laplace angestellten Berechnung leitet Regenwasser den Schall $4^1/_2$ mal, Meerwasser $4^7/_{10}$ mal, Messing $10^1/_2$ mal geschwinder fort, als die atmosphärische Luft. Eine für die Heilkunde wichtige Anwendung von der Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper gewährt das durch Lännec vorgeschlagene Stethoskop. Dasselbe besteht aus einem hohlen Cylinder von hartem Holze, von etwa 1 Fuß Länge und $1^1/_4$ Zoll Dicke, und wird von den Aerzten zu dem Zwecke benutzt, um das eine Ende äußerlich auf den kranken Theil des Körpers zu setzen, und das Ohr an das andere Ende zu halten, um auf diese Weise die Geräusche besser wahrnehmen zu können, die durch das Eindringen der Luft in die Lungenzellen bei'm Athmen im Innern der Brust entstehn.

Für die Einrichtung unserer Gehörwerkzeuge und unsers Nervensystems ist die weise und wohlthätige Fürsorge der Natur, die überall das rechte Mittel zu wählen weiß, abermals darin zu erkennen, daß die meisten Schälle, die zu uns gelangen, durch die Luft geleitet werden. Würden Glockengeläute, Kanonendonner, heftige Donnerschläge, rauschende Musik und dergl. starke Schälle durch feste elastische Körper oder durch tropfbare Flüssigkeiten zum Ohre gelangen, so würden sie, da sie ungeschwächter bleiben, unser Nervensystem mehr oder weniger auf das nachtheiligste erschüttern.

Wem aus der Geometrie der Satz, daß die Oberflächen der Kugeln sich verhalten, wie die Quadrate ihrer Halbmesser, bekannt ist, der wird leicht begreifen, daß die Stärke des Schalles in eben dem Verhältniß abnehmen muß, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Ist man zwei Meilen von dem schallenden Körper weg, so ist der Schall, unter sonst gleichen Umständen, viermal schwächer, als in der Entfernung von einer Meile; in der Entfernung von drei Meilen ist er neunmal schwächer u. s. w. Hierdurch muß er endlich so schwach werden, daß er nicht mehr gehört werden kann. Das sogenannte Wetterleuchten, wo man den Blitz sieht ohne den Donner zu hören, hat zuweilen seinen Grund in der großen Entfernung der Gewitterwolke. Ist z. B. ein Donnerschlag, der

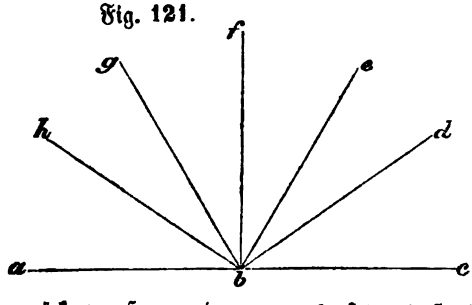


Digitized by Google

in einer Entfernung von 3000 Fuß über der Erde entsteht, sehr heftig, so muß ein eben solcher Schlag, der in einer sechsfachen Entfernung zum Vorschein kommt, schon 36 mal schwächer seyn. Um das Gesetz dieser Abnahme, mittelst des angeführten geometrischen Satzes, einzusehen, darf man nur daran denken, daß die Schallwellen hohle Kugeln bilden, deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt im schallenden Körper liegt. Je weiter sie vom schallenden Körper sich erstrecken, desto größer wird ihr Halbmesser, und da ihre Oberflächen nach dessen Quadrat zunehmen, so wird dadurch der Schall in eben solchem Verhältniß auf immer größere Flächen vertheilt, und somit unmerklicher gemacht. In der Wirklichkeit kommen jedoch mancherlei Umstände vor, die dieses Gesetz mehr oder weniger einschränken, und Eruptionen von Vulkanen, so wie heftige Kanonaden, hat man schon auf 70 — 80 Meilen Entfernung noch gehört. In gebirgigen und waldigen Gegenden verschwindet der Schall weit eher, als in großen und weiten Ebenen. Bei ruhiger Luft, günstigem Winde, nächtlicher Stille, und über eine Wasserfläche hin pflanzt sich der Schall weit ungeschwächter fort, als es unter abgeänderten Umständen der Fall ist. Der Schall wird aber geschwächt, wenn er aus einem Mittel in ein anderes übergeht, aus einem dichtern in ein dünners, z. B. aus Wasser in Luft, und noch mehr im umgekehrten Fall, wo er aus einem dünnern Mittel in ein dichteres eintritt, z. B. aus Luft in Wasser. Je dichter hingegen das Mittel ist, in welchem er sich ohne Uebergang in ein anderes fortpflanzt, desto stärker ist er auch, und ist es allemal um so mehr, je stärker die Schwingungen des schallenden Körpers sind, und je mehr solche für eine Sekunde betragen.

§ 148. (Echo.) Die Schallwellen, und so auch die Schallstrahlen, werden von allen Körpern, deren Oberfläche die gehörige Härte und Glätte hat, oder sonst dazu geeignet ist, unter demselben Winkel wieder zurückgeworfen (reflectirt), unter dem sie angeschlagen haben. Durch diese Zurückwerfung entsteht das laute Schallen in neuen noch unbewohnten Häusern und in Kirchen, und durch sie kann ein Schall noch einmal, öfters auch noch mehrmal mehr oder minder deutlich gehört werden. Kommt z. B. ein Schall von h (Fig. 121) auf die Fläche ac in b an, so wird der Strahl hb, der mit der Fläche den Winkel hba macht, unter demselben Winkel dbc nach d zurückgeworfen. Wäre hba = 45 Grad, so ist auch dbc = 45 Grad. Eben so geht der Strahl gb, der unter dem Winkel gba anschlägt, unter einem gleichen Winkel ebc nach e zurück. Ein senkrechter Strahl fb aber muß in sich selbst, also wieder nach f zurückgeworfen werden, vorausgesetzt, daß die Fläche zu einer Zurückwerfung überhaupt geeignet ist. Ein so zurückgeworfner Schall wird, wenn er undeutlich und verwirrt ist, ein Wieder- oder Nachhall, und wenn er deutlich ist, ein Echo genannt.

Fig. 121.




Nur dann kann ein Echo entstehen, wenn die zurückwerfende Fläche in einer solchen Entfernung von dem schallenden Körper und dem Zuhö-

Digitized by Google

rer ist, daß dessen Ohr die Eindrücke des Urschalles von der Zurückwerfung zu unterscheiden im Stande ist. Mauern, Häuser, dichte Waldungen, Felsen können unter dieser Bedingung ein Echo erzeugen, hingegen entsteht nur ein mehr oder minder unvernehmliches Geräusch, ein bloßer Wiederhall, wenn die zurückwerfende Fläche nicht die gehörige Entfernung hat, wie dieses z. B. in einer menschenleeren Kirche der Fall ist, Außerdem wird aber auch der Schall in einem solchen Gebäude von zu vielen Flächen, die sich alle sehr nahe liegen, zurückgeworfen. Die Wiederlaute verwirren sich dadurch ebenfalls so ineinander, daß das Ohr sie nicht mehr einzeln zu unterscheiden vermag. Der Erfahrung gemäß kann man zwei aufeinander folgende Sylben deutlich von einander unterscheiden, wenn zwischen der einen und der andern wenigstens ein Achtel oder ein Neuntel einer Sekunde verfließt. Folgen sie noch schneller aufeinander, so kann sie das Ohr nicht mehr unterscheiden. Soll daher ein reflectirter Schall als deutliches Echo zurückkehren, so muß die zurückwerfende Fläche in einer solchen Entfernung von dem schallenden Körper seyn, daß wenigstens ein Neuntel einer Sekunde zwischen dem Urschall und der Reflexion verfließt. Rechnet man die Geschwindigkeit des Schalles auf 1040 Pariser Fuß in einer Sekunde, so legt er $^1/_9$ Sekunde beinahe 116 Pariser Fuß zurück. Die reflectirende Fläche muß demnach wenigstens in der halben Entfernung, also etwa 60 Pariser Fuß weit, vom schallenden Körper und dem dabei stehenden Zuhörer liegen, wenn nur eine Sylbe deutlich zurückgeworfen werden soll, weil nur dann der Weg hin und wieder zurück die gehörige Länge für das erforderliche Zeitmaß hat. Ein solches Echo wird darum auch ein *einsylbiges* genannt; es gibt nur die letzte Sylbe zurück, da die vorangehenden schon wieder zurückkommen, ehe die letzte noch ausgesprochen ist, und darum nicht besonders gehört werden können. Auch wenn der Zuhörer nicht bei dem schallenden Körper ist, kann er ein einsylbiges Echo hören, wenn wenigstens ein Neuntel einer Sekunde darauf geht, bis der reflectirte Schall zu ihm gelangt. Wäre z. B. der schallende Körper vom Zuhörer 100 Fuß weit weg, wäre ferner der Weg vom schallenden Körper bis zur zurückwerfenden Fläche 85 Fuß, und von dieser bis zum Zuhörer 75 Fuß, so muß der Urschall, um zur zurückwerfenden Fläche zu gelangen, und von da bis zum Zuhörer reflectirt zu werden, 160 Fuß zurücklegen. Da nun dieser Weg um 60 Fuß länger ist, als die Entfernung des Zuhörers vom schallenden Körper, so vergeht $^1/_9$ Sekunde, bis die Reflexion zum Zuhörer gelangt, daher dieser ein einsylbiges Echo hören kann. Ist die reflectirende Fläche zweimal 60 Fuß weit entfernt, so kann der bei'm Urschall stehende Zuhörer zwei Sylben im Echo hören u. s. w. In diesem Falle wird das Echo ein *vielsylbiges* genannt. Ist die reflectirende Fläche 520 Fuß weit vom Urschalle weg, so kann der dabei stehende Zuhörer ein achtsylbiges Echo haben, und überhaupt so viele Sylben wiederholt hören, als man in einer Sekunde, die bei dieser Entfernung im Hin- und Herweg verstreicht, zu hören im Stande ist. Es können auch mehrere zurückwerfende Flächen in gehöriger Entfernung liegen, so daß der Schall immer neu reflectirt und nach dem Orte des Urschalls zurückgeleitet wird. Ein solches Echo wird ein *vielfaches* genannt, zum Unterschied eines einzigen Echo, das ein *einfaches* heißt.

Wegen der besondern Beschaffenheiten, die zu einer reflectirenden Fläche erforderlich sind, wenn die Zurückwerfung deutlich seyn soll, sind selbst



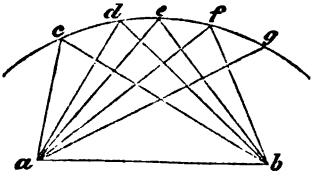
Digitized by Google

einsylbige und einfache Echo gerade nicht sehr häufig zu finden. Ein vielfacher Wiederhall des Donners findet sich wohl in gebirgigen Gegenden, jedoch nicht immer auch ein vielfaches oder nur einfaches Echo.

§ 149. (Hörinstrumente.) Auf der Zurückprallung des Schalles beruht auch die Einrichtung der Communicationsröhre, der Sprachröhre, der Hörröhre und der Sprachgewölbe. Schon dadurch, daß man einen Schall durch die rohrförmig gebogene Hand, noch besser durch ein cylindrisches Rohr gehen läßt, wird er verdichtet und verstärkt. Weit mehr aber ist dieses der Fall, wenn das Rohr kegelförmig ist. In einem solchen werden die Schallstrahlen, ehe sie herauskommen, erst vielmal zurückgeworfen und dabei so sehr verdichtet, daß sie eine große Verstärkung erhalten. Von dieser Form ist auch das eigentliche Sprachrohr, dessen man sich auf Schiffen und Thürmen bedient. Mit seiner Beihülfe kann man auf eine viertel Meile weit, und eine starke Stimme noch viel weiter, sich Gehör verschaffen. Hält man die enge Oeffnung eines Sprachrohrs an das Ohr, so hört man das Leiseste, was durch die weite Oeffnung geflüstert wird. So gebraucht, nennt man es ein Hörrohr, weil schwerhörende und taube Menschen sich seiner, nur in viel kleinerer Gestalt, zuweilen zu bedienen pflegen. Das Communicationsrohr ist ein Rohr von gleicher Weite, und da dessen Wandungen die Ausbreitungen der Schallwellen verhindern, so gehen sie mit fast gleicher Stärke darin fort. Man bedient sich dieses Rohrs auf Schiffen, um vom Mastkorbe aus nach der Cajüte Mittheilungen zu machen, so wie auch in Gebäuden von einem Stockwerk zum andern. Biot hörte durch die Röhre einer Wasserleitung ein leises Gespräch auf eine Länge von 3000 Fuß. Aehnliche Bewandtniß hat es mit den sogenannten redenden Figuren, und dergl. anziehenden Gaukeleien mehr, die auf Fragen nach Belieben laut oder leise antworten. Durch Röhren, die von der Figur in ein Nebenzimmer unter dem Fußboden weggehen, kommen die Fragen zu einer hier versteckten Person, und deren Antworten wieder zurück.

Die Sprachgewölbe und Sprachsäle sind gewöhnlich elliptisch, d. i. in einer länglich runden Form, gebaut. In ihnen kann Jemand in dem einen Brennpunkte hören, was von einem Andern, der in dem andern Brennpunkte steht, so leise geflüstert wird, daß sonst Niemand, auch wenn er noch so nahe bei dem Flüsterer steht, es zu vernehmen im Stande ist. In der Sternwarte zu Paris befindet sich ein solches Sprachgewölbe. Ist a (Fig. 122) der eine und b der andere Brennpunkt der Ellipse, so werden alle Schallstrahlen, die von a ausgehen, nach b, und die von b nach a reflectirt, und dadurch so sehr verdichtet, daß man in einem dieser Punkte die leisesten Worte hören kann, die in dem andern gesprochen werden.

(Fig. 122.)




§ 150. (Wahrnehmung des Schalles.) Die Verbindung der Außenwelt mit der Seele durch die fünf Sinne gehört zu den bewunderungswürdigsten und unerklärbaren Anstalten der Natur. Im Allgemeinen besteht ein jeder Sinn aus äußeren Werkzeugen, die zur Aufnahme des äußern Eindrucks bestimmt sind, und aus einem dahinter liegenden Nerven, der auf eine oder die andere Weise mit ihnen verbunden ist, und durch den der Eindruck, man weiß nicht wie, der Seele zugeführt wird. Bei dem Organ,

Digitized by Google

dem wir die Wahrnehmung des Schalles verdanken, ist aber diese allgemeine Einrichtung aus so vielen einzelnen festen und flüssigen Theilen zusammengesetzt, daß weder anatomisch, wo die einzelnen Theile gesondert, benannt und in ihrer gegenseitigen Lage näher beschrieben werden, noch physiologisch die Nothwendigkeit dieses künstlichen und wundersamen Baues ausgemittelt und erklärt werden kann. Nur so viel läßt sich einsehen, daß der Schall, der durch das äußere Ohr in den cylindrischen Kanal, den Gehörgang, dringt, das hier liegende Trommel- oder Paukenfell, welches aus einem dünnen, gespannten und elastischen Häutchen besteht, erschüttere, und daß dessen Erschütterungen durch die drei Gehörknöchelchen (Hammer, Ambos und Steigbügel) und das Fenster, welches eine kleine gebogene Oeffnung ist, dem mit dem Labyrinthe, das aus vielen knöchernen, knorpeligten, häutigen und wässerigen Theilen besteht, verbundenen Gehörnerven, der theils hart, theils weich ist, mitgetheilt und hierdurch empfunden wird. Auch von dem Kanal, der aus dem Innern des Ohrs in den hintern Theil der Mundhöhle geht, und den man in Beziehung auf seine Form die Hörtrompete, oder nach dem Entdecker die Eustachische Röhre nennt, läßt sich eine Bestimmung angeben. Durch diese Röhre steht nämlich die Luft im Innern des Ohrs in Verbindung mit der äußern Luft, und verhütet durch ihren Druck aufwärts gegen das Trommelfell, daß dieses bei starkem Knall und heftigen Erschütterungen nicht so leicht zersprengt werden kann. Alle Bestimmungen der andern Theile des Ohrs, von dem knorpeligten Gewinde des äußern Ohrs mit den Ohrläppchen, bis zu dem wunderbaren Bau des Labyrinths hin, ist ein undurchdringliches Geheimniß.

Völlig taube Personen sind auch im Stande, den Sinn einer Unterredung durch die Bewegung des Mundes wahrzunehmen, und hören stark schallende Körper durch den Eindruck auf ihre Nerven. Daraus ist denn klar, daß die Gehörnerven auch noch anders, als gerade durch das Ohr afficirt werden können. Aber auch das gesundeste Ohr täuscht oft, und läßt die Dinge häufig anders hören, als sie in der Natur wirklich sind.

§ 151. (Bauchrednerei.) Wie leicht unser Urtheil über die Richtung, von woher ein Schall komme, getäuscht werden kann, gehört zu den alltäglichen Erfahrungen. Spricht man nur mit verstellter Stimme, so erkennt man schon nicht immer weder genau den Ort des Redenden, noch wer geredet hat. Hört man Jemand sprechen, den man im Gesicht hat, so hört man häufig ganz anders, als wenn er einem den Rücken zukehrt. Von einem Schauspieler, der auf der Bühne ein Instrument in der Hand hält, das er zu spielen scheint, glauben wir, er spiele es auch wirklich, während es doch ganz wo anders, hinter den Coulissen oder im Orchester, gespielt wird. Auf solche Täuschungen zählt vornehmlich auch der Bauchredner (Ventriloque) in der Ausübung seiner Kunst zu sprechen, ohne Lippen und Unterkiefer zu bewegen.

Ausgezeichnete Geschicklichkeit in dieser Kunst zu erlangen, und es darin zu einer solchen Fertigkeit zu bringen, wie dieses berühmt gewordene Bauchredner vermochten, z. B. der Franzose Charles, noch mehr Comte und besonders Alexander, der ganze Vorstellungen, worin mehrere handelnde Personen nach einander aufzutreten schienen, ganz allein ausführte, ist nicht leicht, und wahrscheinlich auch nicht für jedes Sprachorgan geeignet, und die Bauchredner selbst wissen auch über den Mechanismus ihrer Kunst keine bestimmte Auskunft zu geben. Im Allgemeinen läßt sich darüber etwa Folgendes, als wesentlich, bemerken.

Digitized by Google

Das gewöhnliche Sprechen ist in der Regel mit einem bedeutenden Fortstoßen der Luft aus der Lunge begleitet, wobei diese dann eine ähnliche Verrichtung hat, wie etwa bei einer Orgel der Blasebalg, und eben daraus erkennen wir auch, von Jugend auf darin geübt, genau den Ort, von wo aus der Redende spricht. Anders verhält es sich aber bei dem Bauchredner. Dieser hat es dahin gebracht, ein solches Fortstoßen zu vermeiden, indem er die Töne durch besondere Anstrengung der Lungen-, Brust- und Bauchmuskeln, vermittelst der eingeschlossenen, zwischen den Bändern der Stimmritze oscillirenden Luft, hervorbringt. Eine auf diese Weise hervorgebrachte Stimme scheint aus dem Bauche zu kommen, da dessen Höhlungen, so wie die der Brust, ihr die eigentliche Resonanz geben. Die Modificationen seiner Stimme, wodurch der Bauchredner nicht nur die Stimmen anderer Menschen, so wie die der Thiere nachzuahmen versteht, sondern es auch in seiner Gewalt hat, für diese fingirten Stimmen Ort und Entfernung so zu bemessen, daß der Zuhörer sie dort sucht, von woher der Schall zu kommen scheint, bewirkt er theils durch Gaumensegel und Lippen, theils durch geringere oder größere Oeffnung des Nasenkanals, theils durch größere oder geringere Erweiterung des Raumes über der Stimmritze und durch manche andere derartige Mittel. Indessen werden alle diese Mittel noch nicht hinreichen, eine vollendete Täuschung hervorzubringen, wenn der Bauchredner nicht zugleich auch die Geschicklichkeit besitzt, durch Beihülfe gut einstudirter Taschenspielerkünste und Geberdenspiele die Aufmerksamkeit des Zuhörers auf allerlei Weise zu zerstreuen, worin denn auch besonders Alexander eine ausgezeichnete Gewandtheit hatte.

Uebrigens ist die Bauchrednerei schon sehr alt, und es ist sehr wahrscheinlich, daß man sich ihrer schon in den griechischen Orakeln bediente, und in ähnlichen Veranlassungen auch bei andern Völkern.

---

# Zwölftes Kapitel.

## Wärme.

Und noch Niemand hat's erkundet,
Wie die große Mutter schafft:
Unergründlich ist das Wirken,
Unerforschlich ist die Kraft.
Schiller.

§ 152. (Imponderabilien; Incoercibilien.) Mit der Lehre von der Wärme beginnt eine neue große Reihe der interessantesten und merkwürdigsten Naturerscheinungen, zu deren grundursachlichen Erklärungen die allgemeinen Gesetze über Bewegung, Druck und Schwere nicht mehr zureichen. Zu ihnen gehören Wärme, Licht, Elektrizität und Magnetismus. Sind es Wesen von materieller Beschaffenheit, so müssen sie an Feinheit die luftförmigen Körper bei weitem übertreffen, da sie mit diesen nicht nur die Unsichtbarkeit gemein haben, sondern auch gar nicht mehr wägbar sind, das Gewicht eines Körpers nicht im mindesten vergrößern, sich auch nicht in Gefäßen, wie dicht diese auch seyn mögen, einsperren und willkürlich versetzen lassen, was Alles noch mit dem leichtesten wägbaren Körper, dem Wasserstoffgas, geschehen kann. Deßhalb nennt man sie Incoercibilien, unsperr-

Digitized by Google

bare Stoffe. Bedenkt man, daß diese Stoffe ihrer außerordentlichen Feinheit wegen, vielleicht eben so vielmal leichter als Wasserstoffgas sind, so vielmal dieses leichter als Gold ist, welches, da Wasserstoffgas 13mal weniger als die atmosphärische Luft, diese 800mal weniger als Wasser, und dieses fast 20mal weniger als Gold wiegt, das Verhältniß von 1 zu 208000 gibt, so ist leicht zu erachten, daß keine Wage existirt, wenigstens bis jetzt keine erfunden worden ist, die zu einer so feinen Abwägung sich eignete Aus diesem Grunde nennt man auch diese Wesen, in so fern man sie als körperliche Wesen betrachtet, unwägbare (inponderable) Stoffe, Inponderabilien. Da das Daseyn dieser Stoffe, deren Feinheit wir uns nicht mehr vorzustellen vermögen, so sehr hypothetisch ist, so gibt es, wie man leicht denken kann, viele Physiker, die keinen Glauben daran haben, dagegen suchten sie diese Erscheinungen, um die Annahme solcher Stoffe zu beseitigen, auf dynamischem Wege (§ 6) zu erklären, indem sie geltend zu machen suchten, daß alle Erscheinungen der Wärme, des Lichts, der Elektrizität und des Magnetismus Wirkungen gewisser Thätigkeiten, Potenzen oder Kräfte seyen. Gibt man auch zu, daß die dynamische Erklärungsart die Erscheinungen aus einem höhern Gesichtspunkt betrachtet, als die atomistische, bei welcher Stoffe angenommen werden, so ist doch nicht zu läugnen, daß diese, wie jene, so wie überhaupt jede Erklärungsart über die Grundursache der Inponderabilien immer nur eine Hypothese ist. Da nun die atomistische einfach ist, und einen so hohen Grad von Wahrscheinlichkeit hat, daß sich diese Erscheinungen leicht und faßlich darauf zurückführen lassen, so gingen auch die meisten Physiker am liebsten von dieser Hypothese aus, namentlich in Betreff der Wärme.

Jedenfalls äußern sich die vier genannten Inponderabilien in mancherlei verschieden, haben aber, außer der Inponderabilität und Incoercibilität, noch andere übereinstimmende Eigenschaften. Namentlich 1) hängt ihre Wahrnehmung davon ab, daß sie im freien Zustand sich befinden; sind sie in irgend einem Körper gebunden, so sind sie für uns nicht wahrnehmbar. 2) Verbreiten sie sich von da an, wo sie frei werden, nach allen Richtungen, aber immer nur in geraden Linien, so lange sie nicht daran verhindert werden. 3) Kann eines derselben, unter gewissen Umständen, mit den andern verbunden erscheinen; Wärme mit Licht und dieses mit Elektrizität und Magnetismus; eben so Elektrizität mit Magnetismus, Licht und Wärme.

§ 153. (Hypothetische Grundursache der Wärme.) Eines der mächtigsten und unentbehrlichsten Wirkungsmittel (Agens) in den Werkstätten der Natur und der Kunst ist das Feuer, das man dann zugleich auch von jeher als die Ursache der Wärme betrachtet hat. Diese Idee, daß leuchtendes und flammendes Feuer Ursache der Wärme sey, ist aber nicht als fest begründet anzusehen, indem die Erfahrung lehrt, daß Licht und Wärme, obgleich sie sehr häufig beisammen angetroffen werden, dennoch wahrscheinlicherweise ursprünglich von einander verschieden seyn mögen. So kann ein Metall, das geschmolzen und flüssig geworden ist, seinerseits wieder andere Körper, z. B. Eis, Schwefel und selbst ein anderes Metall, das leichter schmilzt, zum Schmelzen und flüssige Körper zum Sieden bringen, obschon es weder flammt, noch leuchtet. Siedendes Wasser, das ebenfalls ohne Licht und Flamme ist, kann andere Körper so erwärmen, daß sie sich ausdehnen und erweicht werden. Auch ist es bekannt, daß jeder Körper eine eigenthümliche Wärme besitzt, die sich durch allerlei Mittel, z. B. durch

Digitized by Google

ſtarke Reibung, heftige Schläge u. ſ. w. aus ihm herausziehen und entbinden läßt. Darum muß man die Wärme, abgeſondert von Licht und Flamme, als etwas Eigenthümliches, für ſich Beſtehendes ſich denken, als ein Geſchenk, das die Natur immerfort und überall mit freigebiger Hand ſpendet, und dem jeder Körper, der organiſche wie der unorganiſche, ſeine Entſtehung und ſeine Beſtehung verdankt. Nur durch die Wärme lebt und geſtaltet ſich Alles in der Natur, und dieſe müßte, würde ihr dieſe Nährmutter genommen, augenblicklich in einen erſtarrten Klumpen ſich verwandeln. Die ganze Herrſchaft, die wir dem Feuer beilegen, iſt im Grunde nichts anders, als die große Macht, die der Wärme angewieſen iſt, denn dieſe iſt es, die jeden Körper ausdehnt, jede Cöhäſion bändiget, die feſten Körper flüſſig macht, die flüſſigen in Dunſt umſchafft, oder wieder zu feſten Körpern geſtaltet, und ſo, wie ſie unter jedem Himmelsſtriche, zu jeder Zeit und in jedem Zuſtand mit thätiger Kraft uns mit despotiſcher Gewalt regiert, ſo iſt ſie es auch, die in unſern techniſchen und induſtriellen Anſtalten eine höchſt wichtige Rolle ſpielt. Ueber das Weſen und die Urſache der Wärme, die wir urſprünglich nur durch die eigenthümlichen Empfindungen kennen, die ſie uns erregt, haben die Naturforſcher von jeher viel geſtritten, und ſtreiten, bei dem Schleier, den die Natur über dieſes wunderbare Weſen geworfen hat, noch immer fort, ohne auf ein entſcheidendes Reſultat gelangen zu können. Einige ſind geneigt, die Urſache der Wärme in einer ſchwingenden Bewegung der Körpertheile zu ſuchen, können aber nicht angeben, wie es zugehe, daß dergleichen Bewegungen bald Wärme, bald Kälte erzeugen. Nach dieſer Annahme, die beſonders von Ampère ausgebildet wurde, und die in neuerer Zeit viele Anhänger gefunden hat, befinden ſich die Atome der Körper in Schwingungen, die zwar mit großer Geſchwindigkeit erfolgen, aber nur kleine Schwingungsweiten haben. Dieſe Schwingungen können ſich jedoch nicht nur unter einander ſelbſt mittheilen, ſondern theilen ſich auch einer äußerſt feinen durch den Weltraum verbreiteten Flüſſigkeit mit, den man den Aether nennt, wellenförmig, etwa ſo, wie ſich der Schall durch die Luft fortpflanzt. Indem nun der Aether hierdurch ſelbſt in ſolche Schwingungen geräth, pflanzt er die wärmenden Schwingungen der Atome weiter fort, und theilt ſie ſo den Atomen anderer Körper mit, und von ſeiner Schwingungsweite hängt dann die größere oder geringere Wärmemenge, die Intenſität der Wärme, ab. Dieſe Hypotheſe, durch welche man viele Wärmeerſcheinungen zu erklären ſucht, nennt man die Wellenlehre oder das Undulationsſyſtem der Wärme. Andere ſuchen die Urſache durch ein verändertes Verhältniß der Dehnkraft zur Ziehkraft zu erklären, indem ſie annehmen, daß jene durch ſchon vorhandene Materie aufgehalten, den Zuſtand erzeuge, dem wir den Namen Wärme beilegen. Bei weitem der größte Theil der Phyſiker und Chemiker huldigt jedoch noch immer dem Emanations- und Emiſſionsſyſtem, wobei angenommen wird, die Grundurſache der Wärme ſey eine eigene, höchſt feine, flüſſige und elaſtiſche Materie, welche man den Wärmeſtoff, das Caloricum, nennt. Da jede Erklärungsart über die Urſache der Wärme an und für ſich immer nur als Hypotheſe daſteht, ſo kann über den größern und geringern Werth derſelben einestheils nur nach dem Grade der Wahrſcheinlichkeit, die ſie beſitzt, anderntheils nach dem Nutzen, den ſie bei Erklärungen der Wärmeerſcheinungen leiſtet, ein Urtheil gefällt werden. In dieſer Hinſicht wird aber die Hypotheſe von dem Daſeyn eines Wärme-

Digitized by Google

stoffs von wichtigen Gründen, die nach und nach sich herausstellen werden, so sehr unterstützt, daß man immer gerne wieder zu ihr seine Zuflucht nimmt, und von ihr sich leiten läßt. Dieser Wärmestoff muß aber, wenn er wirklich existirt, so höchst fein und über alle Maßen subtil seyn, daß er, obgleich man ihn nicht zeigen, nicht darstellen kann, doch Alles durchdringt. Da seine Massen, auch wenn sie noch so sehr in einem Körper sich anhäufen, den Druck auf die Unterlage nicht im Mindesten vergrößern, so ist der Wärmestoff ohne wahrnehmbare Schwere. Den Stoffen anderer Körperarten ist er bald mehr, bald weniger verwandt, und eben diese Verwandtschaft ist es, vermöge welcher er sich mit mehr oder weniger Innigkeit mit ihnen verbindet. Die Verwandtschaft kann so groß, die Bindung so innig werden, daß der Wärmestoff alle Thätigkeit verliert, und für unsere Sinne ganz unwirksam wird. Alsdann nennt man ihn gebundene oder latente (figirte) Wärme. Unter freier Wärme hingegen versteht man den Wärmestoff, dessen Wirkungen unsern Sinnen wahrnehmbar sind.

§ 154. (Temperatur.) Eigentlich gebraucht man das Wort Wärme in dreierlei Bedeutungen. Entweder bezeichnen wir damit ein gewisses allbekanntes Gefühl, z. B. mir ist warm, heiß, kalt, oder den Zustand eines Körpers, in welchem er ein solches Gefühl in uns erregt, z. B. das kalte Eisen, das heiße Wasser, die warme Luft, oder die unbekannte Ursache jenes Gefühls und Zustandes, z. B. die Wärme dehnt die Körper aus, in welchem Sinne man denn immer die freie Wärme darunter versteht.

Die Empfindungen aber, die durch freie Wärme in uns erregt werden, die Gewalt, die sie auf andere Körper auszuüben im Stande ist, haben ihre Grade. Mit der Wärme, die aus einer glühenden Kohle frei wird, kann man ein Stück Schwefel schmelzen, ein Stück Silber wird davon nicht geschmolzen werden. Wie ganz anders ist das Gefühl, das durch eiskaltes, lauliches und siedendes Wasser in uns erregt wird! Dieser Ungleichheit in der Wirkung der freien Wärme, auf uns und auf andere Körper, dem verschiedenen Grad dieser Wirkung unter verschiedenen Umständen, hat man den Namen Temperatur gegeben. Nach dem Grade, womit eine freie Wärme auf einen Körper einzuwirken vermag, wird sie daher eine heißere oder kältere genannt, und ihr eine hohe oder niedrige Temperatur beigelegt. Völlige Abwesenheit aller Wärme würde eine absolute Kälte seyn. Diese findet sich aber in der Natur nirgends, so wie sich auch keine absolute Hitze, d. h. ein so hoher Grad von Wärme findet, der gar keines Zusatzes mehr fähig wäre.

§ 155. (Ausdehnende Kraft der Wärme.) Alle Körper, sowohl feste als tropfbare und expansible, vergrößern sich nach allen Richtungen, wenn sie wärmer, und verkleinern sich wieder nach allen Richtungen, wenn sie kälter werden. Steigende Wärme dehnt daher die Körper aus, in abnehmender Wärme ziehen sie sich wieder zusammen. Ist ein Körper durch Wärme ausgedehnt, oder durch Kälte zusammengezogen worden, so nimmt er, in so fern er an Masse nichts verloren hat, genau wieder die Größe an, die er vor der Ausdehnung oder Zusammenziehung gehabt hat, sobald er wieder zu demselben Grad von Wärme zurückkehrt. Einerlei Wärmegrade entsprechen daher auch immer einerlei Größe der Ausdehnung, allein die Ausdehnung selbst findet nicht, bei einerlei Wärmegrad, für alle Körper auf gleiche Weise statt; der eine wird von derselben Wärme mehr, ein anderer weniger ausgedehnt, und so wird auch von derselben Abnahme der Wärme ein Körper mehr, ein anderer weniger zusammengezogen, und

Digitized by Google

dieses gilt nicht nur für die kubische Ausdehnung, welche auf das ganze Volumen eines Körpers nach seinen drei Dimensionen sich bezieht, sondern auch für jede einzelne derselben, wenn diese nur für sich allein zu berücksichtigen, also nur von seiner linearen Ausdehnung die Rede ist. Am stärksten ist dieser Einfluß der Wärme auf expansible Flüssigkeiten, geringer schon ist er auf tropfbare, und am geringsten auf feste Körper. So gehen Schuhe und Stiefel, die eng sind, schwer aus und an, wenn der Fuß warm ist. Eine metallene Kugel, die kalt ohne Zwang durch eine runde Oeffnung fällt, läßt sich nicht hindurchzwängen, wenn sie heiß gemacht worden ist. Metallene und andere Stäbe, die kalt in einer gewissen Lage genau passen, lassen sich, wenn sie wärmer geworden sind, nicht mehr in diese Lage bringen. Welchen Einfluß dieses auf Pendeluhren, wenn große Genauigkeit gefordert wird, haben kann, ist bereits erwähnt worden (§ 63; 7). Ein fester Körper, dessen specifisches Gewicht nur um so wenig kleiner, als das des Wassers ist, daß er kaum noch darauf schwimmen kann, geht in warmem Wasser sicher unter, weil die Menge des Wassers, die im kalten Zustand den Körper noch zu tragen vermochte, durch die Wärme sich so ausgedehnt hat, daß sie leichter geworden ist, und nun den Körper nicht mehr tragen kann. Einen Versuch darüber kann man, für kaltes und heißes Wasser, mit einem massiven Wachskügelchen anstellen. Wie groß der Einfluß der Temperatur auf das Gewicht des Wassers ist, davon ist ebenfalls schon die Rede gewesen (§ 98). Füllt man ein Gefäß, das vollkommen dicht verschlossen werden kann, mit Wasser, und läßt dieses darin sieden, so wird das Gefäß, mag es auch noch so fest seyn, zuletzt doch unter heftigem Knall zersprengt werden, weil es viel geringer als das Wasser ausgedehnt wird. Taucht man eine gläserne Röhre, die an ihrem untern Ende eine Kugel hat (Fig. 123) und mit einer Flüssigkeit, z. B. mit Weingeist, gefüllt ist, schnell in heißes Wasser, so wird die Kugel zuerst ausgedehnt, wodurch sie sich erweitert, und die Flüssigkeit fällt. Nach einigen Augenblicken aber hat sich die Wärme auch der Flüssigkeit mitgetheilt, und da diese sich weit merklicher als das Gas ausdehnt, so sieht man sie nun steigen. Von welchem Einfluß die ausdehnende Kraft der Wärme auf die Luft ist, und welche Correctionen deßhalb für barometrische Messungen erforderlich werden, ist bereits angegeben worden (§ 125). So auch die Wirkung dieser Kraft auf die Ausdehnung der Luft zum Steigen einer Montgolfiere. Hält man eine schlaffe zugebundene Blase über glühende Kohlen, so dehnt sich die Luft darin so aus, daß die Blase aufschwillt. Erhitzt man die Kugel einer gläsernen Röhre (Fig. 123), so wird dadurch die Luft in der Kugel und Röhre so verdünnt, daß sie sich ausdehnt, und aus der Röhre entweicht. Hält man dann die Mündung der Röhre in eine Flüssigkeit, so wird diese durch den äußern Luftdruck in die Röhre hineingedrückt. Je mehr die Kugel erhitzt, je stärker demnach die Luft ausgedehnt worden ist, desto mehr Flüssigkeit wird in Röhre und Kugel eindringen. Durch dieses Verfahren ist es auch möglich, in sehr enge Röhren, die sich sonst nicht leicht füllen lassen, wie z. B. in Haarröhrchen, eine Flüssigkeit hineinzuschaffen. Kann die durch Wärme sich ausdehnende Luft nicht entweichen, so wird dadurch ihre Expansivkraft und ihr Druck vergrößert. Einen Versuch hierüber kann man mit einer Flasche, welche mit Wasser bis auf eine gewisse Höhe ab

Fig. 123.

Digitized by Google

Fig. 124.

(Fig. 124) angefüllt ist, leicht anstellen, wenn man durch ihre Mündung eine Glasröhre, deren beide Enden offen sind, einsteckt, und dann luftdicht verklebt. So lange die Luft in der Flasche, die über der Oberfläche des Wassers steht, nicht wärmer wird, steht dieses in der Röhre und der Flasche gleich hoch. Wird aber die in der Flasche eingesperrte Luft erwärmt, sey es auch nur mit der Hand, indem man damit den obern Theil der Flasche umfaßt, so fängt das Wasser zu steigen an. Offenbar zeigt dieser Versuch, daß die erwärmte und ringsum gesperrte Luft ihre Expansivkraft und somit ihren Druck auf das Wasser vergrößert haben muß. Daß die Säule endlich bei einem Punkte d stehen bleibt, daran ist einestheils der Gegendruck der äußern Luft durch die obere Oeffnung der Röhre, und anderntheils das Gewicht der sich erhebenden Wassersäule schuld. Dem Springen der Feuerfontaine und des Lichterbrunnens liegt dieselbe Ursache zum Grunde.

Die Feuerfontaine besteht aus einer hohlen Kugel (Fig. 125), die durch eine daran sitzende Röhre ab mit Weingeist gefüllt wird, doch nicht ganz voll. Nach der Füllung wird b, durch welches eingegossen wird, verstopft, und in das Gestell g eingesetzt. Da der Weingeist in der Kugel höher steht, als in der gekrümmten Röhre cd, so wird er durch deren enge Oeffnungen herausfließen. Wird nun der abfließende Weingeist angesteckt, so wirkt die Hitze auf die Luft in dem obern Theil der Kugel, deren Expansivkraft, da sie nicht entweichen kann, dadurch so zunimmt, daß sie den brennenden Weingeist mit großer Gewalt in die Höhe treibt, und im Dunkeln feurige Strahlen gebildet werden. Kugel und Röhren kann man zu diesem artigen Versuch von Blech machen lassen, um das Zerspringen zu verhüten.

Fig. 125.

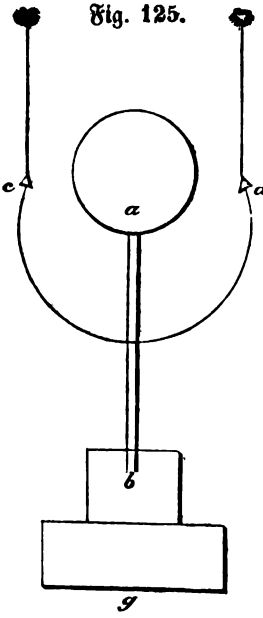
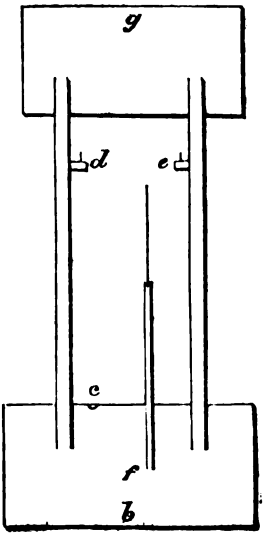



Fig. 126.




Der Lichterbrunnen besteht aus einem Gefäß b (Fig. 126), das durch eine Oeffnung c mit Wasser gefüllt wird. Wird dann diese Oeffnung wieder verschlossen, und das Licht d und e angesteckt, so drückt die Luft in dem Gefäße g, die sich nach und nach erwärmt, und nirgends entweichen kann, durch die Seitenröhren auf das

Digitized by Google

Waſſer in b, und treibt dieſes durch die Springröhre f ſtrahlend heraus.

Rührt die Ausdehnung der Körper in der Wärme von einem Wärmeſtoff her, ſo muß dieſer ſeiner Natur nach auch ſehr expanſiv und elaſtiſch ſeyn. Hierdurch werden dann die innern Theile eines Körpers, in welchem er ſich verdichtet, auseinander getrieben, und das Volumen des Körpers vergrößert. Nimmt aber die Dichtigkeit des Wärmeſtoffs ab, ſo ziehen ſich die innern Theile des Körpers wieder zuſammen, wodurch das Volumen verkleinert wird. Die Undulationstheorie erklärt die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, daß bei deren Zunahme auch die Schwingungsweiten des Aethers ſich vergrößern, ſomit die Körpertheilchen auseinander treiben und ausdehnen. Immerhin, ſowohl bei der einen, als der andern Erklärungsart, findet die ausdehnende Kraft der Wärme einen Widerſtand in der Cohäſion der Körper, daher denn auch expanſible mehr als tropfbare, dieſe mehr als feſte Körper von demſelben Wärmegrad ausgedehnt werden. Daß aber dieſe Erklärungen von der ausdehnenden Kraft der Wärme im Grunde nur ſehr hypothetiſch ſind, kann zwar nicht widerſprochen werden, dennoch mögen ſie ſo lange für zureichend gelten, ſo lange die Grundurſache der Erſcheinung dem Menſchen unenthüllt bleibt. Im Grunde iſt dieſes bei jeder Naturerſcheinung der Fall, die man bis zu irgend einer Grundkraft zu rückzuführen ſucht. Kann man auch öfters eine Erſcheinung durch eine lange Kette wahrnehmbarer Kräfte verfolgen, ſo iſt doch zuletzt immer der Punkt, der die ganze Kette zuſammenhält, mit ſterblicher Hand nicht mehr zu faſſen (§ 4).

(I. Ausdehnung feſter Körper.) Da die Wärme einen ſo großen Einfluß auf alle Naturkörper hat, ſo würde die Auffindung der Geſetze, nach welchen jeder Körper bei ſteigender Wärme ſich ausdehnt, und über die ſucceſſive Zunahme dieſer Ausdehnung für jeden gedenkbaren Wärmegrad, von ungemeiner Wichtigkeit ſeyn; bis jetzt iſt aber dieſes Ziel noch lange nicht erreicht. Alle Unterſuchungen, die man deßhalb bis jetzt über dieſen Gegenſtand angeſtellt hat, erſtrecken ſich bloß auf die Ausdehnung vieler Körper von dem Gefrierpunkt bis zum Siedepunkt des Waſſers, und ſind ſelbſt nicht einmal genau übereinſtimmend. Ausgemacht iſt nur ſo viel, daß beſonders bei den feſten und tropfbaren Körpern, die Ausdehnung in ungleichem Verhältniß zunimmt, in höheren Wärmegraden mehr als in niedrigen. Indeſſen iſt die Ausdehnung eines feſten Körpers von dem Gefrierpunkt des Waſſers bis zu deſſen Siedepunkt überhaupt nur klein, und kann daher, ohne bedeutenden Fehler, als gleichförmig fortſchreitend betrachtet werden. Sind daher dieſe beiden Punkte um 80 Grade von einander entfernt, und hätte man gefunden, daß irgend ein feſter Körper zwiſchen dieſen beiden Punkten um $^1/_{1000}$, entweder ſeines Volumens, oder ſeiner Länge nach, ſich ausgedehnt habe, ſo kann man, obwohl nicht ganz richtig, doch ohne großen Fehler annehmen, daß die eine oder die andere dieſer Ausdehnungen von Grad zu Grad um den 80ſten Theil zunehme, alſo $^1/_{80000}$ betrage. Wie ſchwierig überhaupt die Größe einer ſo geringen Ausdehnung, wie die der feſten Körper von dem Gefrier- bis zum Siedepunkte des Waſſers iſt, beſtimmt werden kann, zeigt ſich deutlich, wenn man die Beſtimmungen ſehr ſorgfältiger Beobachter mit einander vergleicht. Muſchenbroek, Bouguer, Lambert, Leroy, Condamine, Herbert, Smeaton, Ramsden, Delüc, Dülong, Petit, Lavoiſier, Laplace, und neuerlich noch Andere mehr, haben

Digitized by Google

hierüber, namentlich über die lineare Ausdehnung, viele interessante und möglichst genaue Versuche angestellt, ohne eine Uebereinstimmung erhalten zu haben. So dehnt sich z. B. ein Stück Eisen, welches bei dem Gefrierpunkt des Wassers eine Länge von 100000 Linien hat, bis zum Siedepunkt desselben um 0,00073 Linien aus, nach Muschenbroeck's Versuchen, nach Herbert aber um 0,00117; Schmiedeeisen nach Smeaton und Ramsden um 0,00125; Eisendraht nach Lavoisier und Laplace um 0,00124. Die Versuche von Smeaton und Ramsden hält man für vorzüglich. Denkt man sich die Länge eines Körpers in der Temperatur des gefrierenden Wassers in 100000 Theile getheilt, so dehnt sich bis zum Siedepunkt des Wassers nach diesen Versuchen aus:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Glas . . . . . | um | 80 | dieser Theile |
| Zink . . . . . | „ | 296 | „ „ |
| Blei . . . . . | „ | 286 | „ „ |
| Zinn . . . . . | „ | 248 | „ „ |
| Messing . . . . . | „ | 193 | „ „ |
| Kupfer . . . . . | „ | 170 | „ „ |
| Stahl . . . . . | „ | 122 | „ „ |
| Eisen . . . . . | „ | 125 | „ „ |
| Gold (nach Ellicot) . | „ | 140 | „ „ |
| Silber (nach Herbert) . | „ | 207 | „ „ |
| Platin (nach Borda) . | „ | 85 | „ „ |

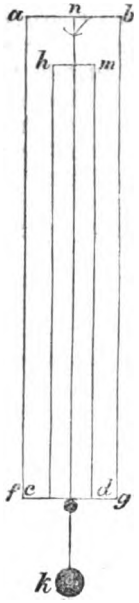
Unter allen diesen Körpern dehnt sich daher Glas am wenigsten aus, oder hat, wie man es zu nennen pflegt, den kleinsten Ausdehnungs-Coëfficienten, und dehnt sich, wenn man die Ausdehnung als gleichförmig annimmt, für jeden Grad steigender Wärme nur um ein Hunderttausendstel seiner Länge aus. Am stärksten ist sie bei dem Zink, wo sie für jeden Grad steigender Wärme fast vier Hunderttausendstel beträgt. Da dickere Körper mehr Cohäsion als dünnere haben, und die Cohäsion der ausdehnenden Kraft der Wärme entgegenwirkt, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß selbst bei Körpern aus einerlei Materie die Ausdehnung für dickere geringer als für dünnere sey, und daher die angeführten Resultate auf Körper von beträchtlicher Dicke nicht mehr passen möge. Indessen kann man, da die Ausdehnung nur gering ist, sie nach allen Richtungen als gleichförmig betrachten, und ohne merklichen Fehler annehmen, daß die Oberfläche zweimal, der körperliche Inhalt eines Körpers aber dreimal so viel als die Länge durch die Wärme ausgedehnt werde. So oft sich demnach die Länge eines Körpers um eine Linie ausdehnt, dehnt sich die Oberfläche um zwei Quadratlinien, der körperliche Inhalt um drei Kubiklinien aus.

Setzt man nämlich die Länge eines Körpers $= 1$ und die durch die Wärme bewirkte Ausdehnung $= x$, so ist sie nunmehr $= 1 + x$, also die Oberfläche $= (1 + x)^2 = 1 + 2x + x^2$. Da aber $x$ so klein ist, so kann man $x^2$ ohne Fehler auslassen, und dafür bloß $2x$ für die Ausdehnung der Oberfläche annehmen. Die Ausdehnung des körperlichen Inhalts würde seyn $= (1 + x)^3 = 1 + 3x + 3x^2 + x^3$ wo man aber wiederum die höhern Potenzen von $x$ als unbeträchtlich auslassen, und bloß $3x$ für die Ausdehnung des körperlichen Inhalts ohne merklichen Fehler annehmen kann.

Diese Versuche über die Ausdehnung der festen Körper finden allerlei nützliche Anwendungen; namentlich bei dem Compensations- oder

Digitized by Google

Fig. 127.




**Rostpendel** (§ 63; 7). Ein solches Pendel (Fig. 127) besteht aus mehreren in der Form eines Rostes miteinander verbundenen Metallstangen, z. B. aus den eisernen af und bg, aus den Zinkstangen he und md und der eisernen Pendelstange nk. Die eisernen Stangen, die von der Querstange fg gehalten werden, dehnen sich abwärts, die Zinkstangen aber, die von der Querstange hm gehalten werden, dehnen sich hinaufwärts aus. Werden nun die Eisenstangen um eine Linie ausgedehnt, so senkt sich die Querstange fg um eine Linie, mithin auch die Pendelstange nk, und das Pendel wird dadurch um zwei Linien länger. Da nun Zink sich stärker ausdehnt als Eisen, so werden die Zinkstangen, deren verhältnißmäßige Länge man genau bestimmt haben muß, sich ebenfalls um zwei Linien ausdehnen, und durch die Querstange hm das Pendel um zwei Linien heben, daher verkürzen. Hierdurch wird also die Pendellänge ausgeglichen (compensirt) und das Pendel bleibt unverändert. Bei Taschenuhren wird die Unruhe, deren Schwingungen den gleichförmigen Gang derselben regulirt, ebenfalls aus zwei verschiedenen Metallen von ungleicher Ausdehnung, etwa aus Stahl und Kupfer, zusammengesetzt. Ueberhaupt gibt es nicht wenig Erscheinungen, die leicht in der ausdehnenden Kraft der Wärme ihre Erklärung finden, wie u. A. auch folgende: erkaltete gläserne und porzellanene Gefäße zerspringen, wenn man sie schnell mit heißem Wasser füllt, eben so ein kaltes Glas, das auf einen heißen Ofen gestellt wird; ein Glasstöpsel, für den die Halsöffnung einer Flasche ein wenig zu eng ist, geht doch hinein, wenn man den Hals der Flasche erst etwas erwärmt, aber dann auch sehr schwer wieder heraus; ein eiserner Reifen, den man glühend um ein Rad schlägt, umschließt dieses sehr fest, wenn er kalt geworden ist; Nägel, die man heiß eingehämmert hat, springen leicht wieder aus, wenn sie kalt geworden sind; Metalle, die man in Formen gegossen hat, füllen ihre Form nicht mehr aus, wenn sie wieder hart geworden sind; feine Furniren in Möbeln reißen los, wenn sie zu lange den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind. Sowohl in der Ausdehnung als Zusammenziehung der festen Körper durch Zu- und Abnahme der Wärme liegt eine unglaublich große Kraft, und obgleich man das Resultat derselben bis jetzt noch wenig kennt, so zeigt doch sich die Größe derselben in dem Zerspringen der dicksten Gläser, eiserner Platten und großer Eismassen bei ungleicher Ausdehnung und Zusammenziehung. Biot erwähnt einer sinnreichen Benutzung dieser großen Kraft durch den Ingenieur Molard, der sich ihrer bediente um die Wände eines großen Magazins, die durch die Last der darin aufgehäuften Materialien aus einander gedrückt waren, wieder zusammen zu drücken. Molard ließ die ausgewichnen Mauern mit starken eisernen Ankern durchziehen, durch Lampen einen um den andern erhitzen und dann festschrauben, und als sie erkaltet und dadurch verkürzt waren, richteten sie die Mauern wieder gerade, während andere mechanische Mittel dieß zu bewirken nicht im Stande waren. Uebersteigt aber die Kraft, mit welcher ein fester Körper durch Abnahme der Wärme sich zusammenzieht, jene seiner Cohäsion, so muß er zerreißen.

Digitized by Google

Werden nun einzelne Stellen eines Körpers nicht gleichförmig durch Wärme ausgedehnt, oder bei deren Abnahme zusammengezogen, so muß er sich krümmen, z. B. ein Stück steifes Papier, ein Stück Holz, ein Stab, der aus Kupfer und Eisen zusammengesetzt ist, und dergl. m.; ist es ein spröder Körper, so bekommt er einen Sprung oder zerbricht, z. B. ein erkaltetes Glas, in welches man heißes Wasser gießt. Hierauf beruht auch die Kunst, ein nicht zu dickes Glas, in dessen Rand man zuerst einen kleinen Sprung gemacht hat, spiralförmig zu zerschneiden. Dieß geschieht vermittelst einer glühenden Holzspitze, mit welcher man sachte von dem Sprung aus über die Stellen hinfährt, wo geschnitten werden soll. An diesen Stellen dehnt sich das Glas plötzlich aus, und die Risse, die es hier bekommt, werden durch den Weg bestimmt, den die glühende Holzspitze nimmt. Ein so zerschnittenes Glas läßt sich immer noch mit einer Flüssigkeit füllen, allein diese läuft augenblicklich aus, so wie man das Glas oben anfaßt. Den kleinen Sprung in den Rand des Glases kann man mit einer Feile machen, oder auch mit nassem Finger, wenn man die Stelle des Randes damit tupft, die an einer Lichtflamme heiß gemacht worden ist.

Von dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung fester Körper durch die Wärme finden sich zwar dem ersten Anblick nach einige Ausnahmen, indem feuchter Thon, nasses Holz und andere Körper, die viele Feuchtigkeiten enthalten, in der Hitze schwinden, und sich zusammenziehen, allein die Ausnahmen sind nur scheinbar. Nicht die Thon- und Holztheile haben sich in der Hitze zusammengezogen, sondern die Feuchtigkeit ist durch sie entwichen, die Körpertheile sind dadurch näher aneinander gerückt, und das Volumen des Körpers verkleinert worden. Auch dauert diese Ausnahme nur so lange, so lange die Masse noch Feuchtigkeit enthält. Ist sie erst völlig ausgeglüht und ausgetrocknet, so folgt sie dann auch dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung, wie jeder andere feste Körper. Ein irdenes Pfeifenrohr, ausgetrocknetes Holz, dehnt sich wie jeder andere Körper durch die Wärme aus. Auch hält man es für wahrscheinlich, daß manche Metalle, ehe sie zu schmelzen beginnen, sich etwas zusammenziehen. Sehr genaue Messungen, die Mitscherlich über die Ausdehnung der Krystalle angestellt hat, haben gezeigt, daß sie sich nicht in allen ihren Richtungen nach gleichmäßigem Verhältniß ausdehnen, wenn sie nicht zu den regulären gehören.

(II. Ausdehnung tropfbarer Körper.) Auch bei den tropfbaren Körpern ist die Ausdehnung von dem Gefrierpunkt bis zum Siedepunkt des Wassers nicht sehr beträchtlich, obgleich sie mehr als bei den festen Körpern beträgt, und darum auch von beträchtlicherem Einfluß auf das specifische Gewicht ist. Auch ist der Fehler, den man begeht, wenn man das ungleiche Verhältniß der Ausdehnung bei steigender Wärme als gleichförmig annimmt, bei tropfbaren Körpern bedeutender als er bei festen ist, und daher nicht mehr gut zu vernachlässigen. Nur so viel hat die Beobachtung gelehrt, daß jeder tropfbare Körper in der Mitte seines eigenen Frost- und Siedepunktes eine Strecke hat, in welcher er sich fast gleichförmig ausdehnt. Sehr merkwürdig ist aber in dieser Hinsicht der Gang, den das Wasser in seiner Ausdehnung durch die Wärme befolgt. Dieses wird zwar dichter, je weiter es sich von seinem Siedepunkt entfernt, erhält aber seine größte Dichtigkeit in einer Temperatur von $3^1/_5$ Grad nach dem achtzigtheiligen Queckfilberthermometer, und dehnt sich von da bis

Digitized by Google

zum Gefrierpunkt wieder aus (§ 98). De Lüc schreibt diese sonderbare Erscheinung dem Bestreben zur Krystallisation zu, indem von hier an die Theile ihre Stellung gegen einander verändern, und auseinander getrieben werden. Theils daher, theils auch durch die im Eise eingeschlossenen Luftblasen, nimmt das Eis einen größern Raum ein, als das Wasser, aus dem es entstanden ist, wodurch es ein kleineres specifisches Gewicht bekommt, und auf dem Wasser schwimmen kann. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß dieselbe Erscheinung auch bei andern Flüssigkeiten statt hat, daß mithin auch diese kurz vor ihrer Erstarrung ihre größte Dichtigkeit erreichen. Wie stark diese Ausdehnung bei der Bildung des Eises ist, beweis't das Zerspringen der Gefäße, worin Wasser gefriert. Selbst starke Bomben hat man schon dadurch zersprengt; dicke Bäume und große Felsstücke bekommen dadurch öfters starke Risse. Versuche über die Ausdehnung der tropfbaren Körper von dem Gefrierpunkt, oder eigentlich von dem angegebenen Punkt der größten Dichte, bis zum Siedepunkt des Wassers sind ebenfalls von vielen Naturforschern angestellt worden, fielen aber auch nicht übereinstimmend aus. Denkt man sich den ganzen Raum eines tropfbaren Körpers zwischen diesen beiden Punkten des Wassers in hunderttausend Theile getheilt, so dehnt sich bis zu dessen Siedepunkt aus:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Wasser | (nach Schmidt) | um | 4543 | dieser Theile |
| „ | (nach Bischoff) | „ | 4390 | „ „ |
| „ | (nach Blagden) | „ | 4577 | „ „ |
| „ | (nach Andern) | „ | 4213 | „ „ |
| Queckſilber | (nach Schmidt) | „ | 1745 | „ „ |
| „ | (nach De Lüc) | „ | 1835 | „ „ |
| „ | (nach Delisle) | „ | 1740 | „ „ |
| „ | (nach Andern) | „ | 1792 | „ „ |
| Leindl | (nach Newton) | „ | 7250 | „ „ |

Hiernach werden, innerhalb dieser Gränzen, aus 1000 Kubikfuß Wasser, nach Schmidt, 1045,43, Queckſilber 1017,45 Kubikfuß.

Weingeist, der viel eher als Wasser zu sieden anfängt, dehnt sich, nach Gilpin, vom Gefrierpunkt des Wassers bis zu 30 Grad des achtzigtheiligen Queckſilberthermometers um 0,4162 aus. Bis zum Siedepunkt des Wassers geben einige seine Ausdehnung zu 0,87 an. Von allen tropfbaren Körpern dehnt sich, innerhalb der angegebenen Gränzen, Queckſilber nicht nur am wenigsten (über $2\frac{1}{2}$ mal weniger als Wasser) aus, sondern auch gleichförmiger. Nach De Lüc dehnt sich eine Queckſilbersäule von 100000 Zoll Länge innerhalb der angegebenen Gränze um 1835 Zoll aus, also eine Säule von 27 Zoll Länge um 0,49545, beinahe um $\frac{1}{2}$ Zoll, wie dieses bei der Correction am Barometer gezeigt worden ist (§ 112).

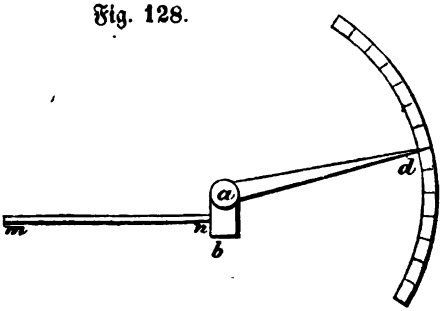
(III. Ausdehnung expansibiler Flüssigkeiten.) Wie behutsam man in der Naturkunde seyn muß, wenn man von einer Erscheinung auf eine andere, die ihr ähnlich zu seyn scheint, einen Schluß ziehen will, kann man auch bei der ausdehnenden Kraft der Wärme auf luftförmige Körper wahrnehmen. Lange hielt man es für eine ausgemachte Wahrheit, daß auch diese Körper in ungleichem Verhältniß bei steigender Wärme ausgedehnt werden. Man leitete dieses theils aus den Versuchen über die Ausdehnung der festen und tropfbaren Körper ab, theils aus Versuchen, die man eigens deßhalb anstellte, denen aber, wie man jetzt weiß, die erforderliche Genauigkeit fehlte. Zwei vorzügliche Experimentatoren, Dalton in

Digitized by Google

Manchester, und Gay-Lüssac in Paris, haben aber fast gleichzeitig, auf verschiedenen Wegen und unabhängig von einander, das merkwürdige Gesetz entdeckt, daß alle luftförmige Körper, sogar Dämpfe, von demselben Wärmegrad und unter gleichem Luftdruck gleich stark und genau nach einerlei Verhältniß ausgedehnt werden. Dalton fand, daß jede Luftmasse, deren Volumen in der Temperatur des gefrierenden Wassers 1000 ist (z. B. 1000 Kubikzoll), sich auf 1398 ausdehne, wenn die Temperatur bis zum Siedepunkt des Wassers steigt. Gay-Lüssac, dessen Versuche vorzüglich genau waren, so wie nach ihm Dülong und Petit fanden, daß innerhalb dieser Gränze das Volumen jeder Luftmasse von 1000 auf 1375 sich ausdehne, dasselbe Verhältniß, das früher schon auch Lambert in Beziehung auf die atmosphärische Luft gefunden hatte. Für jeden Grad steigender Wärme nimmt daher jede Luftmasse nach dem achtzigtheiligen Queckfilberthermometer um $^{375}/_{80000}$ oder um $^{1}/_{215}$ zu (§ 125), oder nur um $^{1}/_{219}$ nach den neuern übereinstimmenden Versuchen von Rudberg, Magnus und Regnault, die auch mit den Resultaten übereinstimmen, die Bessel über die Ausdehnung der Luft erhielt. Nach diesen Versuchen beträgt demnach die Ausdehnung der Luft, der Gase und der Dämpfe für jeden Centesimalgrad 0.00366. Ist nun das Volumen einer expansibeln Flüssigkeit bei Null Grad $C = 1$, so ist es für jede andere Temperatur $t = 1 + 0.00366\,t$, also für $100^0$ C ist es $= 1{,}366$. Folge dieses reichhaltigen Gesetzes sind nun: 1) Das gegenseitige Verhältniß der Dichtigkeit expansibler Flüssigkeiten bleibt unter gleichem Luftdruck für jeden Wärmegrad sich gleich. 2) Wird eine expansible Flüssigkeit wärmer, ist aber dabei auf irgend eine Weise daran verhindert, sich ausdehnen zu können, so nimmt dagegen ihr Druck zu, und zwar in demselben Verhältniß, in welchem sie sich ungehindert durch die Wärmezunahme ausgedehnt, und ihr Volumen vergrößert hätte.

§ 156. (Versuche.) Die Apparate, durch welche man die Versuche über die Ausdehnung der Körper durch die Wärme angestellt hat, sind mitunter sehr sinnreich ausgedacht. Das Ausdehnungsverhältniß der festen Körper kann man schon mittelst eines einfachen Werkzeugs (Fig. 128) finden. Dieses besteht darin, daß man eine Stange mn, deren Ausdehnung man untersuchen will, mit dem einen Ende m wider eine Platte, am besten von Glas, weil dieses sich nur wenig bis zum Siedepunkt des Wassers ausdehnt, anlegt, das andere Ende n aber wider den kurzen Arm ab eines Winkelhebels. Der längere Arm ad dieses Hebels bildet einen Zeiger, der sich über einen Bogen, auf welchem Thermometergrade verzeichnet sind, bewegen kann. Da der längere Hebelarm ad in derselben Zeit einen viel größern Weg zurücklegen muß, als der kürzere ab, so wird die geringste Ausdehnung der Stange mn, wodurch der Hebel in Bewegung kommt, an dem Zeigefinger zu erkennen seyn. Wird demnach die Stange mn nach und nach von dem Gefrierpunkt bis zum Siedepunkt des Waf-

Fig. 128.






Digitized by Google

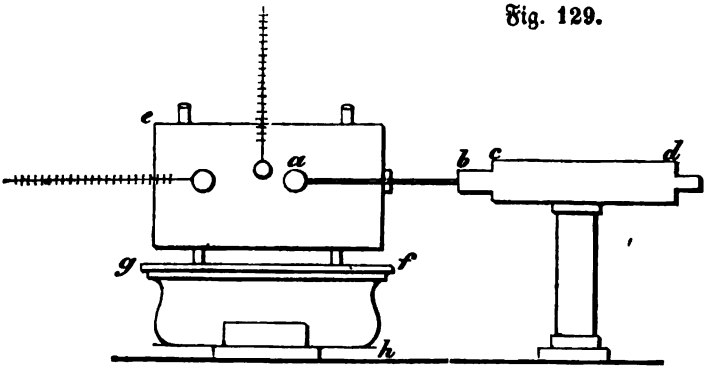
sers erhitzt, so können deren Ausdehnungen mittelst des Zeigers gemessen werden. Weil aber mit der Ausdehnung der Stange auch alle Theile des Werkzeugs selbst sich mit ausdehnen, und daher die Resultate unsicher machen, haben Laplace und Lavoisier dieser Geräthschaft eine andere, viel künstlichere Zusammensetzung gegeben, und damit ihre Versuche angestellt.

Zu den Versuchen über die Ausdehnung der tropfbaren Körper bediente sich De Lüc einer gläsernen Röhre mit einer viel weitern Kugel daran (Fig. 123). Hat man den innern Raum der Röhre genau eingetheilt, so wird sie mit der Flüssigkeit gefüllt, deren Ausdehnung man untersuchen will. Ehe dieses geschieht, läßt man die Flüssigkeit in der Röhre so lange sieden, bis solche ganz davon ausgefüllt, und alle Luft ausgetrieben ist, dann schmelzt man sie zu. Man kann nun die Röhre in Wasser bringen, das man nach und nach bis zum Sieden erhitzt, und die Ausdehnung der Flüssigkeit mittelst der angebrachten Eintheilung bemerken. Auch dadurch, daß man einen festen Körper, dessen Ausdehnung durch die Wärme bekannt ist, in der Flüssigkeit abwägt, die man untersuchen will, kann deren Ausdehnung gefunden werden. Je mehr sich nämlich die Flüssigkeit ausdehnt, desto geringer wird auch ihr specifisches Gewicht, und desto geringer fällt der Gewichtsverlust des eingetauchten Körpers aus.

Fig. 123.

Der Apparat, dessen sich Gay-Lüssac zu seinen Versuchen über die Ausdehnung der luftförmigen Körper durch die Wärme bedient hat, und der an Genauigkeit jenen von Dalton übertrifft, war folgendermaßen eingerichtet. Eine Glasröhre ab (Fig. 129), mit einer hohlen Kugel daran,

Fig. 129.




wurde, nachdem ihr innerer Raum genau eingetheilt und von aller Feuchtigkeit befreit war, mit Queckfilber gefüllt, und dieses darin zum Sieden gebracht. An diese Röhre wurde dann eine andere cd gekittet, in welcher sich die Luftart befand, deren Ausdehnung untersucht werden sollte. Die Röhre ab wurde so gehoben, daß das Queckfilber in cd überfloß, dagegen sie mit Luft sich anfüllte, bis endlich nur noch ein kleiner Theil Queckfilber in ab zurückblieb, welches die eingetretene Luft sperrte. Den Raum, den die Luft in ab einnahm, konnte man mittelst der angebrachten Eintheilung messen. So vorgerichtet, wurde die Röhre ab in ein metallenes Gefäß ef gesteckt, das Gefäß mit Wasser gefüllt, und über einem Ofen gh erhitzt. Durch zwei Thermometer, von denen der eine lothrecht, der andere

Digitized by Google

wagerecht in das Gefäß gesteckt waren, konnte die Zunahme der Temperatur genau gemessen werden, und durch den Stand des sperrenden Queckſilbers in der Röhre ab ließ ſich die jedesmalige Ausdehnung der Luft erkennen. Von einem Beobachter, wie Gay-Lüſſac iſt, läßt ſich ſchon erwarten, daß er ſeine Verſuche mit aller erdenklichen Genauigkeit anzuſtellen wußte, was dann auch wirklich der Fall war. Das Reſultat dieſer Verſuche war dann die ſchon erwähnte merkwürdige Entdeckung, daß alle Luftarten in gleicher Temperatur ſich um gleich viel ausdehnen. Gay-Lüſſac gebrauchte auch noch die Vorſicht, die Luft in der Röhre cd vor dem Verſuch erſt von beigemiſchter Feuchtigkeit zu befreien, indem er ſalzſaure Kalke, die dieſe Feuchtigkeit anziehen, in die Röhre füllte. Nachherige Verſuche, ohne dieſe Vorſicht, gaben aber dennoch gleiche Reſultate, und ſelbſt Dämpfe aus Schwefeläther machten von dem aufgeſtellten Geſetz keine Ausnahme. Hieraus zog Gay-Lüſſac den Schluß, daß eigentlich alle expanſible Körper, Luftarten wie Dämpfe, von gleicher Temperaturerhöhung eine gleiche Ausdehnung erleiden.

§ 157. (Thermometer.) Die Wahrnehmung, daß alle Körper durch ſteigende Wärme ausgedehnt, durch abnehmende zuſammengezogen werden, hat die Erfindung von Werkzeugen veranlaßt, durch welche man im Stande iſt, die Zu- und Abnahme der Wärme mit ziemlicher Genauigkeit zu meſſen. Man nennt ſie Thermometer (Thermoſkope), Wärmemeſſer. Den Körper, deſſen man ſich dazu bedient, nennt man die thermometriſche oder thermoſkopiſche Subſtanz.

Da alle Körper der ausdehnenden Kraft der Wärme unterworfen ſind, ſo gibt es im Grunde keinen, der nicht zur thermoſkopiſchen Subſtanz ſich eignete, indeſſen ſind Luft, Weingeiſt, Queckſilber und Streifen feſter Metalle diejenigen, die gewöhnlich dazu angewandt werden. Hiernach gibt es Luft-, Weingeiſt-, Queckſilber- und Metallthermometer, was eigentlich auch ſchon die Queckſilberthermometer ſind, obgleich es nicht üblich iſt, ſie Metallthermometer zu nennen.

### 1. Das Lufttthermometer von Drebbel und Sanctorius.

Die Erfindung des Thermometers fällt in das Jahr 1630, und wird einem holländiſchen Landmann, Cornelius Drebbel, jedoch nicht mit völliger Gewißheit, zugeſchrieben. Das von ihm angegebene Thermometer war ein Lufttthermometer, und beſtand aus einer gläſernen Röhre mit einer hohlen Kugel daran. Nachdem Drebbel die Luft in der Kugel und Röhre durch Erwärmung ausgedehnt, und etwa bis zur Hälfte ihrer natürlichen Dichtigkeit verdünnt hatte, ſetzte er die untere Mündung der Röhre in ein Gefäß mit einer gefärbten Flüſſigkeit, die dann durch den, damals noch unbekannten, äußern Luftdruck, deſſen Gleichgewicht mit dem im Innern der Röhre aufgehoben war, in die Röhre gedrückt und emporgehoben wurde. Ein italieniſcher Arzt, Sanctorius, vertauſchte das Gefäß mit einer zweiten unten offenen Kugel, die an der Röhre angeblaſen war, um das Thermometer leichter transportiren zu können (Fig. 130). Dieſer Arzt wird ſogar von einigen Phyſikern als der eigentliche Erfinder des Thermometers genannt; andere nennen auch Galilei als ſolchen. Die Höhe, bis zu welcher die Flüſſigkeit ſtieg, nachdem die Röhre darin eingetaucht worden war, bezeichnete man mit Null, und trug ab- und aufwärts dieſes Punktes gleiche Theile, die aber, da man die Aus-



Digitized by Google

Fig. 130.

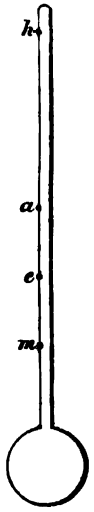
dehnung der Luft innerhalb gewisser Gränzen noch nicht kannte, willkürlich gewählt waren. Steht nun die Flüssigkeit bis *m*, so steigt sie höher, wenn die über ihr stehende Luftsäule sich noch mehr zusammenzieht, es also kälter wird. Wird es wärmer, so dehnt sich die Luftsäule über der Flüssigkeit wieder aus und drückt diese tiefer herab. Je tiefer demnach die Flüssigkeit in der Röhre steht, desto größer ist der Wärmegrad. Man sieht indessen leicht ein, daß dieses Thermometer, obgleich dessen thermoskopische Substanz die Luft, mithin eine der allerempfindlichsten ist, die es für die ausdehnende Kraft der Wärme gibt, doch nur von sehr unzuverlässigem und beschränktem Gebrauch seyn kann. Unzuverlässig, weil auf die Flüssigkeit auch noch der Druck der äußern Luft wirkt, da die untere Kugel, wie bei einem Barometer, offen ist. Beide Kräfte, der Druck der Luft von außen und die ausdehnende Kraft der Wärme von innen, können so wirken, daß die Flüssigkeit höher steigt und tiefer fällt, als es durch die Wärme allein, die doch eigentlich gemessen werden soll, hätte geschehen können, oder beide Kräfte wirken sich entgegen, und stören dadurch abermals das Maß für die Wärme. Die Beispiele hierzu sind nicht schwer aufzufinden. Wird nämlich die äußere Luft elastischer, indem es zugleich kälter wird, so steigt die Flüssigkeit aus beiden Ursachen zu hoch; wird die äußere Luft weniger elastisch, und wird es zugleich wärmer, so fällt die Flüssigkeit aus beiden Ursachen zu tief. Hat die äußere Luft an Elastizität zugenommen, indem es zugleich wärmer geworden ist, so wirken beide Ursachen sich entgegen, was auch der Fall ist, wenn die Elastizität der äußern Luft sich vermindert, indem es zugleich kälter wird. In allen diesen Fällen ist dieses Thermometer ein sehr unvollkommenes Maß für die Wärme. Es ist aber auch zugleich von beschränktem Gebrauch, weil die starke Ausdehnung der Luft durch die Wärme eine zu lange Röhre nothwendig machte, wenn mit diesem Thermometer vielerlei Temperaturen gemessen werden sollen. Indessen hat es doch mit allen diesen Mängeln, die es freilich zum gewöhnlichen Gebrauch untauglich machen, für den Physiker, dem es öfters darauf ankommt, eine augenblickliche und schnell vorübergehende Aenderung in der Temperatur zu erforschen, noch immer seinen guten Nutzen.

## II. Das Florentinische Thermometer.

Erst um die Mitte des 17. Jahrhunderts wurde von der Akademie zu Florenz eine neue Art Thermometer verfertigt, die in so weit die Drebbel'sche an Vollkommenheit übertraf, daß bei ihr der Druck der äußern Luft ohne Einfluß blieb. Das Florentinische Thermometer war ein Weingeistthermometer, und bestand aus einer gläsernen Röhre, an deren unteres Ende eine hohle Glaskugel angeblasen war (Fig. 131). Nachdem die Kugel mit gefärbtem Weingeist so weit gefüllt war, daß er auch noch ungefähr den vierten Theil der Röhre einnahm, tauchte man sie in heißes Wasser und ließ sie so lange darin, bis der Weingeist sich durch die ganze Röhre ausgedehnt hatte, wo dann das Ende derselben luftdicht verschlossen wurde. Mit der Abkühlung zog sich der Weingeist wieder zusammen, und über ihm war nun ein luftleerer Raum. Die Stelle *a*, die er

Digitized by Google

Fig. 131.




in einer mäßigen Wärme, z. B. in einem Keller, annahm, ließ man als den Nullpunkt gelten, und trug für die dazu gehörige Skale ober- und unterhalb dieses Punktes gleiche, aber willkürlich gewählte Grade auf, von denen man die über a Grade der Wärme, die unter a Grade der Kälte nannte. Dieses Thermometer, obgleich es seiner Verfertigung nach die Veränderung in der Wärme ganz richtig anzuzeigen vermocht hätte, war aber besonders darin höchst mangelhaft, daß seine Skale Jedem, der ihrer Verfertigung nicht beiwohnen konnte, ganz unverständlich bleiben mußte. Thermometer, die anderwärts auf dieselbe Weise verfertigt wurden, konnten, da der Nullpunkt und die Größe eines Grades so willkürlich und zufällig gewählt waren, durchaus nicht zusammen übereinstimmen, und Versuche und Beobachtungen, bei denen einer Temperatur Erwähnung geschah, von Niemand verstanden werden, der nicht an Ort und Stelle sich befand.

### III. Das Thermometer von Renaldini.

Das siebenzehnte Jahrhundert war beinahe zu Ende, als man anfing, dem Florentinischen Thermometer eine Skale zu geben, durch welche seine Anzeigen von Jedem verstanden werden sollten. Der Vorschlag hierzu kam von Renaldini, Professor zu Padua. Die ganze Skale theilte er in zwölf gleiche Grade ein. Den am tiefsten liegenden bestimmte er dadurch, daß er das Thermometer mit geschabtem Eise umgab, und die höhern durch Mischungen von kaltem und siedendem Wasser, in die er nach und nach das Thermometer eintauchte. Da er dabei von der Voraussetzung ausging, daß das kalte Wasser überall gleiche Wärme, eigentlich gar keine Wärme habe, auch annahm, daß der Weingeist durch die Wärme gleichförmig ausgedehnt werde, so war auch dieses Thermometer im Grunde eben so unverständlich und unzuverlässig, als die ältern.

### IV. Das Leinölthermometer von Newton.

Auch der große Newton beschäftigte sich mit der so wichtigen Verbesserung des Thermometers. Den Weingeist vertauschte er mit dem Leinöl, weil dieses nicht so leicht siedet als jener. Seinem forschenden Geiste konnte die Nothwendigkeit, durch zwei feste Punkte die Thermometerskale Jedem verständlich zu machen, nicht entgehen, und so nahm er die Kälte des gefrierenden Wassers und die äußere Wärme des menschlichen Körpers für diese beiden Punkte an. Den Zwischenraum theilte er in zwölf gleiche Grade ein, und der 34ste Grad gab die Wärme des siedenden Wassers an. Von diesem Thermometer wurde jedoch selbst in England nur wenig Gebrauch gemacht.

### V. Das Thermometer von Fahrenheit.

Fast zugleich mit Newton arbeitete Fahrenheit aus Danzig an der Verfertigung übeinstimmender Thermometer, wozu er sich zuerst des Weingeistes, und späterhin des Queckfilbers bediente. Mit letzterm scheint er im Jahr 1714 die ersten Versuche gemacht zu haben. Nachdem man die Kugel an der engen Thermometerröhre so viel erwärmt hat, daß die

Digitized by Google

Luft darin ausgedehnt worden, und durch die noch offene Mündung der Röhre entwichen ist, wird diese in Queckſilber getaucht und dieſes durch den äußern Luftdruck in Röhre und Kugel hineingedrückt. Hat ſich erſt die Kugel auf dieſe Weiſe mit Queckſilber gefüllt, ſo erhitzt man ſie ſo lange, bis das Queckſilber durch die ganze Röhre ſich ausdehnt und alle Luft daraus vertrieben hat, dann ſchmelzt man auch ihre obere Mündung zu. Erkaltend zieht ſich das Queckſilber wieder zuſammen, und über ihm iſt nun ein luftleerer Raum, wodurch es bei Ab- und Zunahme der Wärme ſich ohne Gegenwirkung der Luft zuſammenziehen und ausdehnen kann. In ſo weit iſt demnach dieſes Verfahren jenem gleich, was ſchon die Florentiner bei Verfertigung des Weingeiſtthermometers angewandt haben. Um aber der Skale durch feſte Punkte eine allgemein verſtändliche Eintheilung zu geben, indem es gerade hierauf hauptſächlich ankam, brachte Fahrenheit durch eine Miſchung von Eis- und Salz, deren Verhältniſſe er jedoch unbeſtimmt gelaſſen hat, eine künſtliche Kälte zu Wege, in die er das Thermometer ſetzte. Hier ſank das Queckſilber bis zu einer gewiſſen Tiefe, z. B. bis m (Fig. 131.), und dieſe nahm er dann zum Nullpunkt der Skale an. In ſiedendes Waſſer geſetzt, ſtieg das Queckſilber im Thermometer bis zu einer gewiſſen Höhe, z. B. bis h. Da er wollte gefunden haben, daß das Volumen des Queckſilbers, wenn es bis zu m in 11124 gleiche Theile getheilt würde, von da bis h um 212 ſolcher Theile ſich vergrößerte, ſo theilte er ſeine Skale zwiſchen dieſen beiden Punkten in 212 gleiche Theile ein, und fand, daß der Punkt des gefrierenden Waſſers auf den 32ſten Grad ſeiner Skale fiel. Von da bis zum Siedepunkt des Waſſers waren alſo noch 180 Grade, und 600 Grad über m war der Siedepunkt des Queckſilbers. Dieſes iſt die Grundeinrichtung des Fahrenheit'ſchen Thermometers, das noch jetzt, beſonders in England und Rußland, ſehr häufig gebraucht wird.

### VI. Das Thermometer von Réaumür und De Lüc.

Faſt gleichzeitig mit Fahrenheit verfertigte Réaumür Weingeiſtthermometer, deren Skale er von dem Punkt des gefrierenden bis zum ſiedenden Waſſer in 80 Grade eintheilte, weil er wollte gefunden haben, daß der Weingeiſt von dem einen dieſer Punkte bis zum andern um achtzigtauſend Theile ſeines Raumes ſich ausdehne. Dieſe Réaumür'ſchen Thermometer waren aber gar nicht ſo verfertigt, daß eine Uebereinſtimmung von ihnen zu erwarten geweſen wäre. Réaumür hatte den Weingeiſt, deſſen er ſich bediente, mit Waſſer gemiſcht, um ihn fähig zu machen, größere Grade von Hitze zu ertragen. An und für ſich iſt aber die Ausdehnung des Weingeiſtes zwiſchen dem Froſt- und Siedepunkt des Waſſers ſehr ungleichförmig und nach Verhältniß der Miſchung ſehr verſchieden, und, wie ſich in der Folge ergab, die Skale auch in ſo weit unrichtig, daß in der Regel der Siedepunkt um mehrere Grade über 80 liegen ſollte. Da indeſſen dieſes Thermometer vielen Eingang fand, beſonders in Frankreich und Italien faſt ausſchließend in den Gebrauch kam, ſo ſuchte man es dadurch zu verbeſſern, daß man den Weingeiſt mit dem Queckſilber vertauſchte. Ein Réaumür'ſches Queckſilberthermometer konnte aber mit einem Réaumür'ſchen Weingeiſtthermometer gar nicht übereinſtimmen, weil das Queckſilber nach ganz andern Verhältniſſen als der Weingeiſt ſich ausdehnt.

Erſt der verdienſtvolle De Lüc hat durch ſeine Unterſuchungen und

Digitized by Google

Fig. 131. Versuche über die Ausdehnung der Flüssigkeiten durch die Wärme die Réaumür'sche Skale zur Verfertigung übereinstimmender Queckſilberthermometer angewandt. Von dem Punkt an, wo das Queckſilber in ſchmelzendem Eis ſteht, und den man, zum Unterſchied des Fahrenheit'ſchen, den natürlichen Froſtpunkt nennt, z. B. von e an (Fig. 131) bis zu h hin, wo es ſtand, wenn das Thermometer in ſiedendes Waſſer geſetzt wurde, theilte De Lüc die Skale in 80 Grade ein. Die Entfernung des Punktes h von e (des Siedepunkts von dem natürlichen Froſtpunkt) wird der Fundamentalabſtand genannt. Dieſes Thermometer iſt jetzt am häufigſten im Gebrauch.

De Lüc hat auch das Verdienſt, durch eine Reihe ſorgfältiger Verſuche dargethan zu haben, daß das Queckſilber dem Gang der Wärme, beſonders zwiſchen dem Fundamentalabſtand, ziemlich gemäß ſey, und daß es ſchon allein darum ſich vorzüglich zur thermoſkopiſchen Subſtanz eigne. Außerdem beſitzt das Queckſilberthermometer auch noch andere Vorzüge, die ſeinen höhern Gebrauchswerth beſtimmen. Nicht nur, daß keine tropfbare Flüſſigkeit ſo leicht rein zu bekommen und zu erhalten iſt, als Queckſilber, verträgt es auch weit mehr Hitze, ohne daß ſein Gang ſchwankend wird, und friert erſt bei einer Kälte, die, wenigſtens bei uns, in der freien Atmoſphäre nie eintritt. Auch in Hinſicht der Empfindlichkeit, d. h. der ſchnellen Annahme der Wärme und Kälte, übertrifft das Queckſilber alle andere tropfbare Flüſſigkeiten, die alle mehr oder weniger träge ſind. Nur für den Fall, wo ſehr hohe Grade von Kälte zu beſtimmen ſind, hat ein richtig graduirtes Weingeiſtthermometer, beſonders von reinem Weingeiſt, den Vorzug, daß es nicht friert, und daß es gerade dann einen ziemlich gleichförmigen Gang annimmt.

Um übrigens die Grade der Wärme von den Graden der Kälte zu unterſcheiden, hat man jene poſitive, dieſe negative genannt. Jene gehen von Null aufwärts nach dem Siedepunkt, dieſe von Null abwärts. Poſitiv 20 Grad (+ 20°) heißt demnach 20 Grad Wärme; negativ 10 Grad (— 10°) 10 Grad Kälte. Daß man, wenn die Grundangabe verſtanden werden ſoll, die Skale, auf die ſie ſich bezieht, mit bemerken müſſe, verſteht ſich von ſelbſt.

### VI'. Noch andere Thermometerſkalen.

Nach und nach hat man auch noch andere Thermometer erfunden, deren nähere Beſchreibung ſchon darum hier überflüſſig iſt, da ſie faſt gar nicht in Gebrauch gekommen ſind. Auch hat man, beſonders dem De Lüc'ſchen Thermometer, ohne Noth noch andere Skalen gegeben, von denen einige auch Eingang gefunden haben. Hierher gehört:

1) Die ſchwediſche Skale oder die Celſius'ſche, die nun auch von den franzöſiſchen Phyſikern angenommen worden iſt, daher auch die neue franzöſiſche Skale heißt, und anfängt, ziemlich allgemein zu werden. Statt der üblich geweſenen achtzig Grade, theilt man hier den Fundamentalabſtand in hundert Grade ein, weßhalb ſie auch Centeſimalgrade genannt werden.

2) Die Delisle'ſche, die wenig im Gebrauch iſt, fängt bei dem Siedepunkt mit Null an, und hat bis zum natürlichen Froſtpunkt 150 Grade. Bei dieſer Skale, wo die Grade abwärts gezählt werden, und mit der Kälte zunehmen, gibt es alſo keine poſitiven und negativen Grade.

Digitized by Google

Ist das Thermometer nur vollkommen luftleer, was man auch schon dadurch erkennen kann, daß das Queckſilber ungehindert bis zum obern Ende der Röhre hinfließt, wenn man die Kugel nach oben hält, und kann man überzeugt seyn, daß es richtig graduirt ist, so kommt eigentlich auf die Art der Eintheilung dabei nichts mehr an, um so weniger, da man durch eine leichte Berechnung die Anzeigen einer Skale auf die andere reduciren kann, in so fern nur die eine wie die andere Skale zu einerlei thermoskopiſcher Substanz gehört. Die Regeln, nach welchen man die Réaumür'ſche (eigentlich De Lüc'ſche), Fahrenheit'ſche und Centeſimal-skale, die am häufigſten vorkommen, in einander verwandeln kann, ſind folgende:

Die Fahrenheit'ſche in die Réaumür'ſche: (F. zu R.) Erſtens. Sind es poſitive Fahrenheit'ſche Grade, ſo ziehe man erſt 32 davon ab, weil bei Fahrenheit der Nullpunkt der Skale 32 Grad tiefer liegt, als bei Reaumür. Dann ſchließe man: wie ſich 180 zu 80 oder kürzer 9 zu 4 verhält, ſo verhalten ſich die angegebenen Fahrenheit'ſche Grade zu den Réaumür'ſchen, die man ſucht.

Beiſpiele. 1) + 68° F. zu R.
ab 32
Reſt 36. Alſo 9 : 4 = 36 : x; daher x = 16° R.

2) + 25° F.
ab 32
Reſt — 7. Alſo 9 : 4 = — 7 : x; daher x = — $3^1/_9$° R.

Zweitens. Sind es negative Fahrenheit'ſche Grade, ſo addire man negativ 32 dazu, und verfahre wie vorhin.

Beiſpiel. — 8° F. zu R.
— 32 dazu
iſt — 40. Alſo 9 : 4 = — 40 : x; daher x = — $17^7/_9$° R.

Die Réaumür'ſche in die Fahrenheit'ſche. (R. zu F.)

Man ſchließe: wie ſich verhält 4 zu 9, ſo verhalten ſich die angegebenen Réaumür'ſchen Grade zu den Fahrenheit'ſchen, die man ſucht, und addire noch 32 zum Facit.

Beiſpiele. 1) + 24° R. zu F.
Alſo 4 : 9 = 24 : x; daher x = 51
hierzu 32
gibt + 86° F.

2) — 7° R. Alſo 4 : 9 = — 7 : x; daher x = — $15^3/_4$
dazu 32
gibt + $16^1/_4$° F.

3) — 15° R. Alſo x = — $33^3/_4$
dazu 32
gibt — $1^3/_4$° F.

Die Fahrenheit'ſche in Centeſimal-Grade. (F. zu C.)

Iſt ganz wie bei der Verwandlung in Réaum., nur iſt hier das Verhältniß wie 180 zu 100, oder wie 9 zu 5.

Beiſpiele. 1) + 68° F. zu C.
ab 32
Reſt 36. Alſo 9 : 5 = 36 : x; daher x = 20° C.

Digitized by Google

2) + 25° F.
ab 32
Rest — 7: also x = — $3^{8}/_{9}$° C.
3) — 8° F.
dazu — 32
gibt —40; also x = — $22^{2}/_{9}$° C.

Centesimalgrade in Fahrenheit'sche. (C. in F.)

Man rechnet, wie bei R. in F. nur nach dem Verhältniß von 5 zu 9.

Beispiele. 1) + 35°. C. zu F.
5: 9 = 35: x; daher x = 63°
hierzu 32
gibt + 95° F.

2) — 7° C.; also x = — $12^{3}/_{5}$
hierzu + 32
gibt + $19^{2}/_{5}$° F.

3) — 20° C.; also x = — 36
dazu + 32
gibt — 4° F.

Réaumür'sche in Centesimal-Grade. (R. zu C.)

Man rechnet nach dem Verhältniß von 80 zu 100 oder 4 zu 5.

Beispiele. 1) + 24° R. zu C.
4; 5 = 24: x; daher x = 30° C.

2) — 9° R. Also x = — $11^{1}/_{4}$° C.

Centesimal-Grade in Réaumür'sche. (C. zu R.)

Man rechnet nach dem Verhältniß von 5 zu 4.

Beispiele. 1) + 35° C.
5: 4 = 35: x; daher x = 28° R.

2) — 1° C. Also x = — $^{4}/_{5}$° R.

Bezeichnet man allgemein eine Anzahl Grade nach Fahrenheit mit f; nach Rémaumür mit r; nach Centesimal mit c, so ist:

1) $^{4}/_{9}$ (f — 32) = r
2) $^{9}/_{4}$ r + 32 = f
3) $^{5}/_{9}$ (f — 32) = c
4) $^{9}/_{5}$ c + 32 = f
5) $^{5}/_{4}$ r = c
6) $^{4}/_{5}$ c = r.

§ 158. (Erfordernisse genauer Thermometer.) Obgleich die Einführung eines Fundamentalabstandes zwischen zwei festen Punkten die Thermometeranzeigen allgemein verständlich und harmonirende Thermometer möglich gemacht hat, so ist doch nichts destoweniger ein recht genaues Thermometer weit seltener, als man es glauben sollte. Der Grund hiervon liegt in mancherlei Schwierigkeiten, die sich der Verfertigung entgegenstellen, und die alle zu beseitigen ein ungemein bündiges Verfahren erfordern. Nur Haarröhrchen, in welchen nur ein dünner Quecksilberfaden Platz hat, sind als Thermometerröhren zu gebrauchen, weil dickere Quecksilbersäulen nicht schnell genug dem Eindruck der Zu- und Abnahme der Wärme folgen. Sehr schwer findet sich aber ein solches Röhrchen, dessen innerer Raum genau cylindrisch wäre. Ist er aber dieses nicht, ist er vielmehr an einigen Stellen weiter, an andern wieder enger, so kann schon darum die Skale, die aus gleichen Theilen

Digitized by Google

besteht, nicht durchaus eine so richtige Gradulrung haben, daß sie dem innern Gang der thermoskopischen Substanz zum Maß dienen könnte. Darum muß vor der Verfertigung des Thermometers die Röhre calibrirt, d. h. dem Rauminhalte nach in gleiche Theile, die den äußern Graden entsprechen, getheilt werden. Ein Verfahren, das große Pünktlichkeit und Umständlichkeit erfordert, und wozu Gay Lüssac eine eigene Methode erfunden hat, die wesentlich darin besteht, daß man einen kleinen Queckfilbercylinder in das Röhrchen bringt, ihn durch einen sanften Druck von Außen in kleinen Absätzen von einem Ende zum andern treibt, und in so fern er an keiner Stelle seine Länge ändert, so hat das Röhrchen ein gleiches Caliber. Die Bestimmung des Fundamentalabstandes bietet neue Schwierigkeiten dar. Da Fahrenheit's Nullpunkt von Mischungen abhängt, deren Verhältnisse selbst erst eine genaue Bestimmung erfordern, so wird man sich weit lieber des Réaumür'schen bedienen, der leichter zu haben und immer derselbe ist, da die Natur ihn bereitet. Er bestimmt sich leicht und zuverlässig, wenn man das Thermometer in gefrornes reines Regenwasser, das eben aufthaut, oder reinen Schnee, der eben schmilzt, setzt. Desto veränderlicher fällt dagegen die Bestimmung des Siedepunkts aus. Vor allen Dingen darf das Wasser, dessen man sich dazu bedient, keine Salzauflösungen enthalten, weil Salzwasser später zu kochen anfängt, als reines Wasser. Da aber der frühere oder spätere Uebergang des Wassers in den Zustand des Siedens überhaupt von dem Druck der Luft, also von der Barometerhöhe, abhängig ist, und es, wenn diese Höhe zunimmt, später zu diesem Zustand gelangt, so ist klar, daß die Bestimmung des Siedepunkts nach der Lage des Orts, und für einerlei Ort zu verschiedenen Zeiten, oft schon in einem Tage, eine Veränderung erleiden, und verschiedene Skalen, die nicht mehr übereinzustimmen vermögen, veranlassen kann. In dergleichen Fällen muß durch Correctionen, die durch Versuche ausgemittelt worden sind, nachgeholfen werden, wenn die Thermometer übereinstimmend seyn sollen. Sogar die genaue Beobachtung der beiden festen Punkte des Fundamentalabstands hat ihre Schwierigkeit, und erfordert Sorgfalt. Bei der Bestimmung des Frostpunktes muß man darauf bedacht seyn, nicht bloß die Kugel allein, in welcher die thermoskopische Substanz enthalten ist, in schmelzenden Schnee oder aufthauendes Regenwasser zu halten, sondern die ganze Thermometerröhre muß darin Platz nehmen, weil sonst der frei gebliebene Theil eine andere Temperatur hat, als der eingetauchte, und dadurch ein anderes Volumen annimmt, als er würde angenommen haben, wenn er ebenfalls eingetaucht worden wäre. Die Richtigkeit der Skale macht diese Vorsicht nöthig.

Da siedendes Wasser an seiner Oberfläche immer etwas weniger heiß ist, als in tiefer liegenden Schichten, deren Dämpfe nicht so leicht entweichen können, so hat auch dieser Umstand auf die Bestimmung des Siedepunkts Einfluß, und erfordert schickliche Vorrichtungen, um ihn zu beseitigen. Endlich hat auch noch, nach den Beobachtungen von Gay Lüssac, das Gefäß, in welchem man das Wasser kochen läßt, einigen Einfluß auf den Siedepunkt.

Aller dieser Genauigkeiten ungeachtet, kann man dennoch kein Thermometer verfertigen, welches die wirkliche Ausdehnung des Queckfilbers anzeigte. Diese beträgt nämlich zwischen den beiden festen Punkten des Fundamentalabstandes, nach De Lüc, 0,01835 seines Volumens, also ziemlich nahe an $\frac{1}{55}$ nach den Angaben der neuern französischen Physiker. Da sich aber die Thermometerröhre mit ausdehnt, so bleibt nur die Aus-

Digitized by Google

dehnung sichtbar, um welche das Queckſilber die Ausdehnung der Röhre überſteigt, die alſo nur eine ſcheinbare iſt. Die wirkliche Ausdehnung des Queckſilbers müßte für jeden Centeſimalgrad, in der Vorausſetzung einer gleichförmigen Ausdehnung, $\frac{1}{313}$ des Volumens betragen, die ſcheinbare hingegen beträgt für jeden dieſer Grade nur $\frac{1}{300}$. Nur dieſe iſt demnach durch das Thermometer wahrnehmbar.

Auf die Thermometeranzeigen hat dieſes jedoch keinen Einfluß, da eine größere Ausdehnung zwar größere Grade geben würde, allein das Verhältniß dieſer Grade unter ſich wird dabei immer daſſelbe bleiben, da die ſcheinbare Ausdehnung eben ſo gut gleichförmig iſt, als die wirkliche.

Da nur die ſcheinbare Ausdehnung des Queckſilbers durch das Thermometer gemeſſen werden kann, dieſe aber gleiches Verhältniß hat, inſofern ſonſt nur die Thermometer nach richtigen Grundſätzen verfertigt ſind, ſo hat auch weder die Beſchaffenheit des Glaſes, aus welchem die Röhre beſteht, noch die Länge der Röhre einen Einfluß auf die Uebereinſtimmung der Thermometer. Daher ein Thermometer mit einer kleinen Röhre doch mit einem andern, deſſen Röhre größer iſt, genau übereinſtimmen kann.

Wozu aber die Kugel, welche das Queckſilber enthält, an dem Thermometer ſitzt, da offenbar die Ausdehnung nach denſelben Geſetzen erfolgen müßte, wenn die Kugel nicht da wäre, und das Queckſilber, oder überhaupt die thermoſkopiſche Subſtanz, in der Röhre ſelbſt läge, kann durch eine leichte Rechnung eingeſehen werden.

Angenommen, das Queckſilber läge wirklich in der Röhre ſelbſt, und dieſe wäre 1 Fuß oder 100 Decimallinien lang, und hätte eine Grundfläche von $\frac{1}{4}$ Quadratlinie, ſo beträgt das Volumen des Queckſilberfadens, wenn er die Röhre bei der Verfertigung des Thermometers ganz ausfüllt, $\frac{1}{4}$ mal $100 = 25$ Kubiklinien. Wenn dann das Queckſilber, von einem gewiſſen Punkt aus, um einen Réaumür'ſchen Grad ſich ausdehnt, ſo vergrößert es ſein Volumen um $\frac{1}{300}$. Dieſes beträgt für 25 Kubiklinien $\frac{25}{300}$ oder $\frac{1}{12}$. Da nun die Grundfläche $\frac{1}{4}$ Quadratlinie ſeyn ſoll, ſo iſt die ſcheinbare Ausdehnung in die Länge $\frac{1}{12}$ dividirt durch $\frac{1}{4} = \frac{1}{3}$ Linie. Dieſe Ausdehnung iſt aber zu klein, um wahrgenommen werden zu können.

Iſt aber eine Kugel an der Röhre, die um Vieles weiter als dieſe iſt, deren körperlicher Inhalt z. B. 2 Kubikzoll oder 2000 Kubiklinien beträgt, ſo iſt jetzt in Kugel und Röhre ein Volumen Queckſilber von 2025 Kubiklinien. Wird nun die Temperatur um einen Réaumür'ſchen Grad höher, ſo beträgt die nunmehrige ſcheinbare Vergrößerung des Volumens $\frac{2025}{2000}$. Für die Längeausdehnung allein ergibt ſich, wenn man wie vorhin dividirt, $1\frac{2}{7}$ Linien, deren Wahrnehmung nun mehr möglich iſt.

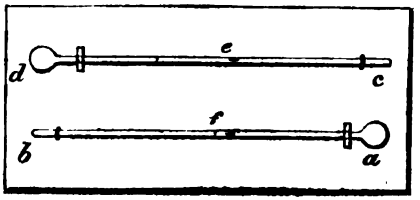
Obgleich nun die Kugel am Thermometer auf die Geſetze, nach welchen die thermoſkopiſche Subſtanz ſich ausdehnt, keinen Einfluß hat, ſo iſt ſie doch in ſo weit unentbehrlich, daß ohne ſie die Ausdehnung nicht bemerkbar ſeyn würde.

Wollte man aber eine bloſe Röhre mit 2025 Kubiklinien Queckſilber füllen, ſo daß die Ausdehnung für einen Réaumür'ſchen Grad auch $1\frac{2}{7}$ Linien Längezunahme ausmache, ſo müßte die Höhe dieſer Röhre, auch wenn ſie eine Quadratlinie Grundfläche hätte, doch 2025 Linien oder über 20 Fuß betragen. Ein ſolches Thermometer würde nicht nur für den Gebrauch ſehr unbequem ſeyn, ſondern auch, wegen der Dicke der Queckſilberſäule, den Eindrücken der Wärme und Kälte viel zu langſam folgen.

Digitized by Google

Um den Grad der höchsten und niedrigsten Temperatur, welche innerhalb einer gewissen Zeit, z. B. während der Nacht, stattgefunden hat, gewahr werden zu können, hat man selbstregistrirende Thermometer oder Thermometerographen erfunden, die man auch, ihrer Bestimmung nach, Maximum- und Minimumthermometer nennt. Das von Rutherford ist am häufigsten im Gebrauch, und besteht aus einem Queckſilber- und einem Weingeiſtthermometer, die beide horizontal auf einem Bret befeſtigt ſind, und jedes mit einer Skale verſehen iſt (Fig. 132), und die jetzt ſo gemacht werden, daß in dem Röhrchen cd des Weingeiſtthermometers ein feines kleines Glasſtängelchen e liegt, welches mit dem Weingeiſt fällt, aber liegen bleibt, wenn er ſteigt, wodurch demnach der tiefſte Thermometerſtand ſichtbar wird, dieſes daher als Minimumthermometer dient. Im Queckſilberröhrchen ab liegt ein kleiner Stahlſtift f, welcher bei'm Steigen des Queckſilbers mit fortgeſchoben wird, bei'm Zurückgehn deſſelben aber liegen bleibt, und ſo den höchſten dageweſenen Thermometerſtand nachweiſt, daher das Maximumthermometer iſt.

Fig. 132.




§ 159. (Luftthermometer.) Luft zum thermoſkopiſchen Körper zu haben, iſt in vielen Fällen, vorzüglich zur Erforſchung der Wirkung der Wärme auf die Expanſivkraft der Luft, von ſo weſentlichem Gebrauch, daß viele Phyſiker mit der Vervollkommnung des Luftthermometers ſich beſchäftigt haben. Die Einrichtung, die Lambert ihm gegeben hat, und die er in ſeiner 1779 zu Berlin erſchienenen Pyrometrie beſchreibt, iſt eine der vollkommenſten für dieſes Werkzeug. Es beſteht aus einer ungebognen Röhre ac (Fig. 133), die oben geſchloſſen iſt. An dem untern Ende der Röhre befindet ſich eine Kugel, die um Vieles weiter als die Röhre iſt. Ein Theil der Kugel enthält Luft, der übrige Theil aber iſt mit Queckſilber gefüllt, das etwa bis m in die Röhre hineinreicht, und über m iſt ein völlig luftleerer Raum. Da die Kugel ebenfalls geſchloſſen iſt, ſo iſt auch die Luft darin, die über dem Queckſilber ſteht, von der äußern Luft abgeſchnitten, und ihre Ausdehnung und Zuſammenziehung hängt bloß von der Zu- und Abnahme der Wärme ab. Wird nämlich die Luft in der Kugel auch noch ſo wenig erwärmt, ſo wird ihre Expanſivkraft ſchon hinlänglich genug vermehrt, und dadurch das Queckſilber über m gehoben. Nimmt die Wärme ab, ſo fällt das Queckſilber wieder zurück, indem die Luft ſich zuſammenzieht. Da aber die Kugel gegen die Röhre ſo beträchtlich weit iſt, ſo kann man ohne merklichen Fehler annehmen, daß das Queckſilber in der Röhre ſteigt und fällt, ohne daß dadurch das Volumen der Luft in der Kugel eine bedeutende Veränderung erleide. Sieht man daher dieſes Volumen wirklich als unveränderlich an, ſo beträgt nach Gay Lüſſac ihre Ausdehnung vom Froſt- bis zum Siedepunkt 0,375 ihres Volumens (§ 156), was auch Lambert durch ſeine Verſuche gefunden hatte.

Fig. 133.

Digitized by Google

Wenn daher dm die Höhe des Queckſilbers bei'm Froſtpunkt iſt, und ms den Fundamentalabſtand bezeichnet, ſo daß der Siedepunkt an s liegt, ſo muß an s die Zahl 1375 ſtehen, wenn bei m die Zahl 1000 ſteht, und von denen zwiſchen m und s befindlichen Graden zeigt jeder, wegen der gleichförmigen Ausdehnung der Luft, die Expanſivkraft der in der Kugel eingeſchloſſenen Luft, in Vergleichung der Expanſivkraft, die ſie bei dem Froſtpunkte hat, genau an. Die Expanſivkraft der äußern Luft aber hängt zugleich auch von dem Stand des Barometers ab. Wird daher die Barometerhöhe in verſchiedenen Temperaturen mit den Anzeigen dieſes Luftthermometers in Verbindung gebracht, ſo kann man daraus die Expanſivkraft der Luft, in ſo weit ſie von der Wärme allein herrührt, meſſen und angeben.

Indeſſen hat man auch hierzu ſich des Queckſilberthermometers bedient, weil es überhaupt leichter als das Luftthermometer zu verfertigen und zu gebrauchen, und ſein Gang ebenfalls ziemlich gleichförmig iſt. Vergleicht man hiernach die Anzeigen des Luftthermometers mit jenen des Queckſilberthermometers, ſo läßt ſich daraus die von De Lüc angegebene Correction der Luft wegen der Wärme, die für barometriſche Meſſungen zu beachten iſt (§ 125), berechnen. Bedenkt man nämlich, daß das Luftthermometer vom Eis bis zum Siedepunkt um 0,375, das Queckſilberthermometer nach Réaumür aber um 80 zunimmt, ſo kann man durch die Regel Detri finden, welche Zahl am Froſtpunkt des Luftthermometers ſtehen muß, wenn ſein Fundamentalabſtand ebenfalls in 80 Grade getheilt wird, indem man ſchließt: wenn die Zunahme bis zum Siedepunkt 375 beträgt, muß am Froſtpunkt 1000 ſtehen; wie viel muß an dieſem Punkte bemerkt werden, wenn an dem Siedepunkt 80 ſtehen ſoll? Alſo: 375 : 1000 = 80 : x; daher $x = 213^1/_3$.

Will man demnach die Réaumür'ſche Skale in die Skale des Luftthermometers verwandeln, ſo darf man nur $213^1/_3$ zu den Graden nach Réaumür addiren. Demnach betragen $16^3/_4$ Grad nach Réaumür, als die von De Lüc angegebene Mittelzahl zwiſchen der untern und obern Wärme der freien Luft (§ 125), für das Luftthermometer $230^1/_{12}$. Steigt das Thermometer auf $17^3/_4$ Grad, ſo gebe dieſes am Luftthermometer $231^1/_{12}$. Demnach iſt für einen Grad nach Réaumür in dem angegebenen Fall das Verhältniß wie 1 zu $1^1/_{230}$, wenn man den Bruch $^1/_{12}$ nicht achtet. De Lüc nahm, ſeinen Verſuchen zufolge, $^1/_{215}$ ſtatt $^1/_{230}$ an.

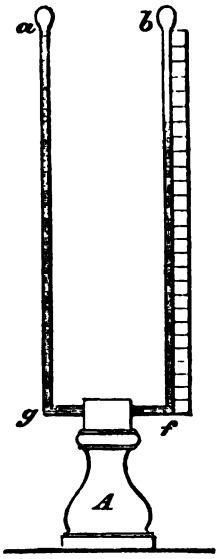
Man macht auch Luftthermometer in der Form der gewöhnlichen Thermometer, bei denen an einer hohlen Glaskugel ein enges, oben offenes Röhrchen ſitzt, in das man ein wenig Queckſilber zur Abſperrung der äußern Luft einläßt. Die Temperatur wird hier durch die Ausdehnung und Zuſammenziehung der abgeſperrten Luft gemeſſen, was man an der abſperrenden Flüſſigkeit ſehen kann. Theils der Widerſtand, den die abſperrende Flüſſigkeit den Ausdehnungen der eingeſchloſſenen Luft an den Wänden des Röhrchens entgegenſetzt, theils auch der äußere Luftdruck, machen jedoch dieſes Thermometer zum gewöhnlichen Gebrauche untauglich, deſto beſſer eignet es ſich aber zur Meſſung hoher Hitzegrade, ſo wie zur Wahrnehmung ſehr geringer Temperaturveränderungen. Regnault hat die Anzeigen dieſes Thermometers mit denen des Centeſimal-Queckſilberthermometers durch viele und genaue Verſuche verglichen, und gefunden, daß 0; 50; 100; 150; 200; 250; 300; 325; 350 Grade des Luftthermometers ſich vergleichen mit 0; 50,2; 100; 150; 200; 250,3;

Digitized by Google

301,2; 326,9; 353,3 Graden des Queckſilberthermometers. Hiernach wäre denn auch das Queckſilberthermometer in ſeinen höheren Graden zu corregiren, wenn man, wegen der gleichförmigen Ausdehnung der Luft (§ 155. III.) das Luftthermometer als Normalthermometer gelten läßt, was aber Regnault ſelbſt nach ſeinen Verſuchen in Abrede ſtellt.

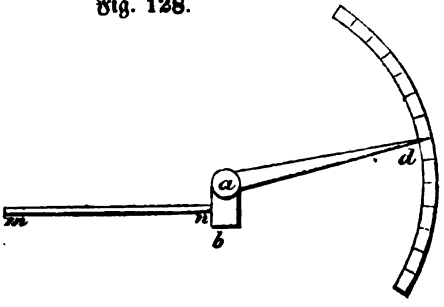
Eine andere Art Luftthermometer iſt das von Leslie, De Butt, Howard u. A. conſtruirte Differentialthermometer, welches durch ſeine große Empfindlichkeit dazu dient, ſehr geringe Wärmeunterſchiede anzuzeigen. Das von Leslie angegebene (Fig. 134) beſteht aus zwei Röhren bf und ag, die bei f aneinander geſchmolzen ſind, und eine geringe Menge einer roth gefärbten Flüſſigkeit, am beſten Schwefelſäure, enthalten. An jede Röhre iſt eine mit Luft gefüllte Glaskugel a und b, ſo viel als möglich von gleichem Volumen, angeblaſen. So lange beide Kugeln eine gleiche Temperatur haben, ſteht auch die Flüſſigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch, aber die allergeringſte Erwärmung einer der Kugeln veranlaßt ein Steigen der Flüſſigkeit in dem andern Schenkel wodurch die Temperaturunterſchiede in beiden Schenkeln ſichtbar werden. Um nun das Inſtrument, das auf dem Geſtelle A ruht, als Thermometer gebrauchen zu können, werden erſt beide Kugeln auf eine gleiche Temperatur gebracht, wo dann in beiden Röhren die Flüſſigkeit gleich hoch ſteht, und dieſes iſt der Nullpunkt der Skale. Hierauf wird die Temperatur der einen Kugel um 10 Centeſimalgrade erhöht, und der Stand der Flüſſigkeit in dem andern Schenkel an der Skale bemerkt. Den Zwiſchenraum von Null bis dahin theilt man in 100 gleiche Theile, die dann 10 Centeſimalgrade enthalten, und auf einen Centeſimalgrad kommen hier 10 Abtheilungen. Man kann alſo mit dieſem Differentialthermometer Zehntheile von Centeſimalgraden beobachten.

Fig. 134.




§ 160. (Metallthermometer.) Dieſe Art von Thermometern, denen man auch die Form der Taſchenuhren gibt, gründen ſich auf die ausdehnende Kraft der Wärme auf die Metalle. Da die Ausdehnung der Metalle vom Froſt- bis zum Siedepunkt zu unbeträchtlich iſt, um ſie von Grad zu Grad wahrnehmen zu können, ſo muß eine ſolche Einrichtung ſtattfinden, daß die Bewegung des Gradzeigers ſchon für eine geringe Ausdehnung des Metalls merklich wird. Dieſes geſchieht durch Räder und Hebel, die durch die Ausdehnung und Zuſammenziehung des Metalls in Bewegung geſetzt werden, und die theilweiſe mit dem bereits beſchriebenen Apparat über die Ausdehnung der feſten Körper übereinſtimmt (Fig. 128). Iſt

Fig. 128.



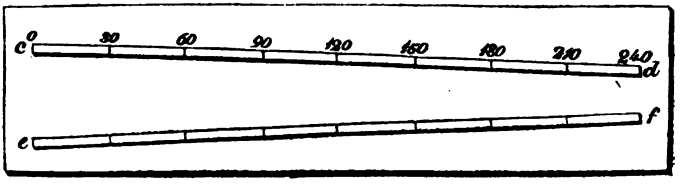

Digitized by Google

das Thermometer so weit vorgerichtet, so kommt es nur noch darauf an; das Zifferblatt gehörig zu graduiren. Da sich hier Frost- und Siedepunkt, ohne das Instrument zu verderben, nicht unmittelbar bestimmen lassen, so wird die Graduirung mit Hülfe eines guten Queckfilberthermometers aufgetragen. Gesetzt, man wollte die Réaumür'sche Skale anbringen, so bringt man das Metallthermometer mit einem Réaumür'schen Queckfilberthermometer in einerlei Temperatur, z. B. dahin, wo dieses Thermometer auf 8 Grad weiset, und bemerkt diese Zahl auf dem Zifferblatte, wo der Zeiger steht. Sodann bringt man sie auch in eine andere Temperatur, in welcher z. B. das Queckfilberthermometer auf 10 Grad weis't. Hat man nun auch diese Zahl am Zeiger auf dem Zifferblatte bemerkt, so hat man zwei Réaumür'sche Grade, folglich auch einen, und somit alle übrigen.

Sehr empfindliche Metallthermometer haben zwei geschickte Uhrmacher, Breguet in Paris, und Holzmann in Wien, angegeben. Die große Empfindlichkeit dieser Thermometer beruht auf der Zusammensetzung zweier Metalle von ungleicher Ausdehnung durch gleiche Wärmezunahme, und auf der Art, wie diese Metalle zusammengesetzt sind, und das Instrument geformt ist.

§ 161. (Pyrometer.) Das Queckfilberthermometer ist höchstens bis zu einer Hitze von 360° C. zu gebrauchen. Noch höhere Grade von Hitze können, weil das Queckfilber hier, nach Dümas und Mitscherlich, u. A. schon in tiefern Graden zu sieden anfängt, mit diesem Thermometer nicht mehr gemessen werden. Andere Werkzeuge dafür zu erfinden, wurde durch den Unterschied der Pendellänge von Cayenne und Paris veranlaßt (§. 63; 1). Damals traten viele Physiker gegen Newton auf, indem sie behaupteten, daß die ganze Erscheinung bloß von der Wärme herrühre, die in Cayenne größer als in Paris sey, wodurch die Stange sich ausdehne und daher dort zu lang werde, und Muschenbroeck war der erste, der ein Werkzeug angab, womit man die Ausdehnungen der Metalle in verschiedenen Wärmegraden messen konnte. Diese Werkzeuge, die nach und nach auf aller Weise verändert und verbessert wurden, sind im Grunde nichts Anders als Metallthermometer, von der Einrichtung, daß man sehr hohe Grade von Hitze damit beobachten kann. Man nennt sie Pyrometer (Feuermesser). Großes Aufsehen erregte das im Jahr 1782 von Wedgwood, dem Erfinder einer neuen sehr gefälligen Art von Steingut, bekannt gemachte Thonpyrometer. Wedgwood gründete seine Erfindung auf die Eigenschaft des Thons, in der Hitze sich zusammenzuziehen (zu schwinden). Aus einem Teig von Kiesel- und Thon-Erde, dessen Mischungsverhältnisse Wedgwood nicht angegeben hat, wurden Würfel gebildet, und auf einem Eisenblech, das bis zur Rothglühhitze getrieben war, wurden sie getrocknet. Die Kante eines solchen Würfels, nach dem Austrocknen, war noch $^1/_2$ Zoll lang. Wurde ein solcher Würfel einer noch größern Hitze ausgesetzt, so schwand er noch mehr, und eben dieses Schwinden nahm Wedgwood zum Maß der Hitze an. Die Einrichtung des Instruments ist etwa folgende: Auf einer Metallplatte (Fig. 135), die ungefähr zwei Fuß lang ist, löthet man zwei Metall-

Fig. 135.




Digitized by Google

stäbe cd und ef auf, daß sie bei c und e um 0,5 Zoll von einander abstehen, durch ihre schräge Lage aber sich einander nähern, und d von f nur noch 0,3 Zoll weit absteht. Von dem vordern weitern Ende bis zum hintern engern Ende ist jeder Stab in 240 gleich Theile getheilt. In der vordern Oeffnung der Stäbe paßt ein auf dem Eisenblech getrockneter Thonwürfel genau ein. Wird nun ein solcher Würfel einer noch größeren Hitze ausgesetzt, so schwindet er noch mehr, und läßt sich dann weiter zwischen die Stäbe einschieben. Soll nun die Hitze eines Eisens, eines Schmelzofens, oder was es sonst sey, bestimmt werden, so setzt man einen Thonwürfel zwischen die Stäbe, und bemerkt, wie weit er ohne Zwang hineinpaßt. Dann bringt man ihn an den Ort, dessen Hitze gemessen werden soll, läßt ihn eine ziemliche Weile dort liegen, nimmt ihn wieder heraus, und bringt ihn, wenn er sich abgekühlt hat, abermals zwischen die Stäbe. Da er in der Hitze geschwunden ist, so kann er jetzt ohne Zwang tiefer in die Stäbe sich einschieben. Die Stelle, wo er nunmehr paßt, zeigt dann die Hitze des Orts an, die man zu wissen verlangte. Durch Versuche, die Wedgwood mit einem silbernen Stabe anstellte, und dessen Ausdehnung er vom Frostpunkte bis zur Rothglühhitze sehr sorgfältig zu bestimmen suchte, konnte er, bei der Annahme, daß die Ausdehnung gleichförmig fortschreite, was zwar nicht ganz genau richtig, doch hinlänglich zur Schätzung ist, berechnen, auf welchem Grad des Queckſilberthermometers der Anfang der Rothglühhitze fallen müsse, und so fand er, daß dieses mit dem 1077sten Grad (eigentlich $1077\frac{1}{2}$) nach Fahrenheit zusammenstimme; dieses ist demnach der Wedgwood'sche Nullpunkt. Hierauf brachte er die Silberstange in eine noch größere Hitze, und aus der Vergleichung ihrer jetzigen Ausdehnung mit der für die Rothglühhitze fand er dann, daß ein Grad seines Pyrometers 130 Fahrenheitische Grade betrage. Wedgwood'sche Grade werden demnach in Fahrenheitische verwandelt, wenn man diese 130 mal nimmt und 1077 dazu addirt.

Der erste Grad nach Wedgwood beträgt demnach 1207 Grad nach Fahrenheit, und der letzte oder 240ste Grad nach Wedgwood entspricht dem 32277sten Grad nach Fahrenheit. So nützlich aber auch Wedgwood dieses Pyrometer zu seinem Gebrauche in seinen Steingutfabriken fand, so leidet es doch an solchen unbesiegbaren Unvollkommenheiten, daß er selbst späterhin keine mehr anfertigen ließ. Außer den Würfeln, deren erdige Mengung sehr unbestimmt auszuführen ist, wodurch sie denn auch in ihrer Zusammenziehung in der Hitze sehr veränderlich ausfallen, liegt ein Hauptmangel dieses Pyrometers in der Bestimmung seines Nullpunkts, die an Zuverlässigkeit jener des Thermometers weit nachsteht, da die Rothglühhitze und die Ausdehnung des Silbers, worauf die Skale des Instruments beruhet, durchaus keine haltbare sichere Grundlage darbietet. Außer Newton, der zu s. B. schon damit umging hohe Hitzegrade, durch die Zeit zu bestimmen, die ein erhitzter Körper bedarf um wieder zu erkalten, fanden sich daher in neuerer Zeit viele Physiker bewogen u. A. Pouillet, Daniell, Prinsep, allerlei andere Arten Pyrometer in Vorschlag zu bringen, die aber alle, da sie ebenfalls mit solchen großen Fehlern behaftet sind, daß dadurch ihre Resultate höchst unsicher werden, noch gar viel zu wünschen übrig lassen.

§ 162. (Nutzen der Wärmemesser.) Nicht umsonst, nicht aus Sucht zu glänzen, haben so viele ausgezeichnete Gelehrte ihre Sorgfalt und Aufmerksamkeit der Vervollkommnung des Thermometers und Pyrometers gewidmet. Die Ueberzeugung, daß genaue Wärmemesser von der größten

Digitized by Google

Wichtigkeit seyen, hat alle Forschungen geleitet, die diesen Instrumenten seit ihrer Erfindung zu Theil geworden sind. Wenn es nicht geleugnet werden kann, daß die Chemie, und mit ihr alle technische Gewerbe, seit einem Jahrhundert ungeheure Fortschritte gemacht haben, daß Siedereien, Brauereien, Brennereien, Färbereien und so viele andere Fabrikanstalten gegenwärtig auf einer Stufe stehen, von der man früherhin keine Ahnung hatte, so haben diese Werkzeuge, namentlich das Thermometer, keinen geringen Antheil daran, wie Jeder einsehen wird, der darüber nachdenkt, von welcher Wichtigkeit die Kenntniß eines bestimmten Wärmegrads der Luft und sonstiger Materien für solche Anstalten seyn mußte. Auch hat man, seitdem man gelernt hat, genaue Thermometer zu verfertigen, und ihre Anzeigen übereinstimmend zu machen, eine Menge in technischer Hinsicht merkwürdiger Wärmegrade beobachtet. Einige davon sind in folgender Tabelle enthalten; von den nebenstehenden Zahlen beziehen sich die mit R. bezeichneten auf Réaumür'sche, die mit F. bezeichneten auf Fahrenheit'sche und die mit W. bezeichneten auf Wedgwood'sche Grade.

| | R. | F. | W. |
|---|---|---|---|
| Nordhäuser Vitriol friert . . . . | —36—40. | —49—58. | |
| Burgunder und Maderawein „ . . . . . | —5,3. | +20. | |
| Queckſilber „ . . . . . | —32. | —40. | |
| Baumöl wird zähe . . . . . | +2,71. | +38. | |
| Hammelstalg ſchmilzt . . . . . | 40,9. | 124. | |
| Butter „ . . . . . | 24. | 86. | |
| Gelbes Wachs „ . . . . . | 48. | 140. | |
| Weingeiſt ſiedet . . . . . | 64. | 176. | |
| Kuhmilch „ . . . . . | 79,1. | 210. | |
| Schwefel ſchmilzt . . . . . | 91,2. | 237. | |
| Zinn „ . . . . . | 165. | 403. | |
| Blei „ . . . . . | 226. | 540. | |
| Queckſilber ſiedet . . . . . | 282. | 666. | |
| Desgl. nach Profeſſor Heinrich . . . | 285. | 673½. | |
| Eiſen leuchtet im Dunkeln . . . . . | 320. | 752. | |
| „ „ am Tage . . . . . | 430. | 1000. | |
| „ glühet roht bei Tage . . . . . | 464. | 1077. | 0. |
| Emailfarbe einzubrennen . . . . . | 811. | 1857. | 6. |
| Meſſing ſchmilzt . . . . . | 1678. | 3807. | 21. |
| Kupfer „ . . . . . | 2024. | 4587. | 27. |
| Fein Silber „ . . . . . | 2082. | 4717. | 28. |
| „ Gold „ . . . . . | 2313. | 5237. | 32. |
| Schweißhitze des Eiſens, kleinſte . . . | 5664. | 12777. | 90. |
| „ „ „ größte . . . | 5953. | 13427. | 95. |
| Hitze einer Schmiedeeſſe . . . . . | 7687. | 17327. | 125. |
| Gußeiſen ſchmilzt . . . . . | 7976. | 17977. | 130. |
| Schmiedeiſen „ . . . . . | 9593. | 21617. | 158. |
| Platin „ . . . . . | 10286. | 23177. | 170. |
| Verglaſung des engliſchen Steinguts . . | 6935. | 15637. | 112. |
| Feinſtes chineſiſches Porcellan wird weich . | 9478. | 21357. | 156. |

(Vergl. Frankfurter Gewerbfreund 1. Jahrg. Seite 82.)

Sehr viele und nützliche Bereicherungen sind durch das Thermometer auch der Arzneikunde und der Naturgeschichte zu Theil geworden. Schon von dem ersten, noch unvollkommenen Lufthermometer behauptete Sanctorius, daß er sich seiner mit vielem Vortheil zum Wohl seiner Patienten bediene. Den vollkommenern Thermometern verdanken wir die Kenntniß von der natürlichen Wärme des menschlichen Bluts, die 99 Fahrenheit oder 30 Réaum. Grad beträgt, und die sichere Zurichtung lauer Bäder,



Digitized by Google

die oft von so wesentlichen Einfluß auf Erhaltung und Wiedererlangung der Gesundheit ist, und die man, in der Regel, von 20 bis 25 Grad nach Reaum. oder von 77 bis 88 Grad nach Fahrenh. zu bestimmen pflegt. Wie wichtig die sichere Bestimmung eines gewissen Wärmegrads für Gewächshäuser, Menagerien, Hospitäler und Wohnzimmer ist, kann Niemand in Abrede stellen, der da weiß, daß das Zuviel und Zuwenig hier gleich nachtheilig wirken. Ueberhaupt kann aber die Anwendung, die man in allen Theilen der gesammten Naturwissenschaft von dem Thermometer macht, einzeln gar nicht aufgezählt werden. Nicht nur, daß es allen Untersuchungen über die einflußreichen Wirkungen der Wärme zur Grundlage, und der ganzen Chemie zum Wegweiser dient, muß auch der Astronom, der in vielen Fällen bei seinen Berechnungen, die ihn durch die Himmelsräume leiten, die Temperatur in Anschlag zu bringen hat, das Thermometer zu Rathe ziehen. Wie viel endlich die physikalische Geographie, seit man im Stande ist, sehr genaue Thermometer zu verfertigen, gewonnen hat, ist, außer bequemeren Höhenmessungen vermittelst des Barometers, wozu, wie gezeigt worden ist, sehr empfindliche Thermometer unentbehrlich sind, auch in der Auffindung der belehrenden Verhältnisse zu sehen, aus denen man den Zustand der Wärme von der Oberfläche der Erde bis zu bekannten Höhen und Tiefen, so wie die Abnahme derselben von dem Aequator bis zu den Polen hin, und dadurch ihren mächtigen Einfluß auf das Leben und Gedeihen der Thiere und Pflanzen, kennen gelernt hat. Um die Temperatur in den Tiefen der Erde zu untersuchen, z. B. die eines artesischen Brunnens, bedient man sich des Geothermometers oder Erdthermometers von Magnus. Dieses besteht aus einer Röhre, die oben offen und ganz mit Queckſilber gefüllt ist. Wird diese Röhre in die Tiefe der Erde eingelassen, so fließt, durch die dort herrschende größere Wärme, ein Theil des Queckſilbers ab. Hat man sie nun wieder zurückgebracht, so setzt man sie in Wasser von bestimmter Temperatur, und erwärmt dieses so lange, bis das Queckſilber wieder die ganze Röhre ausfüllt, wo dann ein anderes gewöhnliches Thermometer, das ebenfalls mit in dieses Wasser gestellt worden ist, den Wärmegrad anzeigt, der in der vorgehabten Tiefe stattfand. Anders ist das, nach seinem Erfinder benannte, Sixthermometer eingerichtet, dessen man sich auch bedienen kann, um die Temperatur in verschiedenen Meerestiefen zu untersuchen.

Bedenkt man die wichtigen Erfolge, die ein wenig Queckſilber, in einer gläsernen Röhre eingeschlossen, auf den Zustand unserer Kenntnisse von der Natur und deren Benutzung bereits gehabt hat, und noch hat, so muß man zugeben, daß jede Naturerscheinung, deren Gesetze wir zu erforschen vermögen, auch wenn sie noch so geringfügig sich ansieht, unberechenbare Folge habe, sowohl auf die Veredlung unseres Geistes, als auf die Verschönerung unseres irdischen Lebens.

§ 163. (Wärmeerregung.) Wärme wird überhaupt erregt:

1) Durch Reiben. Wie sehr hierdurch Wärme erregt wird, die jedoch nach Beschaffenheit der Körper, die aneinander gerieben werden, sehr verschieden ist, kann man an sich selbst erfahren, wenn man die Hände aneinander reibt, oder diese Operation mit andern Theilen seines Körpers vornimmt. Durch schnelles und heftiges Reiben können Seile dermaßen erhitzt werden, daß sie sich entzünden. Läßt man sich von einer etwas beträchtlichen Höhe an einem Seile haltend herunter, so kann man

Digitized by Google

sich die Hände verbrennen. Ein Wallfisch, den die Harpune getroffen hat, stürzt mit so großer Schnelligkeit in die Tiefe, daß die Stelle des Bordes, über welche das Seil der Harpune reibend hinstreift, stets mit Wasser begossen werden muß. Bohrer, Hobeln, Sägen, Feilen und dergl. Instrumente werden beim Gebrauche, wo immer eine heftige Reibung stattfindet, oft glühend heiß. Dasselbe ist der Fall mit Mühlsteinen, die sich schnell umdrehen, mit Schleifsteinen, die man eben deßhalb öfters mit Wasser bespritzt, mit Eisen, das gehämmert wird. Wenn man eine eiserne runde Platte mit Wasser füllt und sie mit einer andern Platte von unten her schnell reibt, kann das Wasser bis zum Kochen sich erhitzen. Selbst zwei Eisstücke von — $1^2/_3{}^0$ C., die Davy aneinander rieb, schmolzen zu Wasser, und dieses hatte + $1^2/_3{}^0$ C., nachdem es sogar einige Minuten lang in einer niedrigen Temperatur gestanden hatte. Eine weichere Holzart, die an einer härtern schnell gerieben wird, entzündet sich zuletzt. Reisebeschreiber erzählen, daß wilde Völkerschaften sich dieses Mittels bedienen, um Feuer zu bekommen. In ein Stück Holz, das auf einer Drehbank schnell herumgedreht wird, brennt der Drechsler schwarze Ringe ein, indem er ein anderes Holz sich daran reiben läßt. Würden die Achsen der Wagenräder nicht gehörig eingeschmiert, so könnten sie sich bei'm schnellen Fahren erhitzen oder gar entzünden. Unter die Menge von Beispielen, die sich über die Erregung der Wärme durch das Reiben aus dem täglichen Leben noch anführen ließen, gehört auch das Feueranschlagen mit Stahl und Stein. Die Funken, die dadurch entstehen, kommen nicht aus dem Steine, sondern von dem Stahle her. Von diesem werden durch das Anschlagen kleine Theile getrennt, die durch die schnelle Reibung glühend geworden sind. Der Stahl nutzt sich eben dadurch nach und nach ab. Fängt man die Funken mit einem Papier auf, und betrachtet sie dann durch ein gutes Mikroskop, so sieht man deutlich, daß es abgetrennte Stahlstückchen sind.

Die Wärmeerregung durch Reibung sucht man dadurch ziemlich befriedigend zu erklären, daß die damit verbundene Zusammenpressung des Wärmestoffs in einen engern Raum nothwendig eine Erhöhung der Temperatur zur Folge haben müsse. Die Wirkung der pneumatischen Feuerzeuge (Tachypyrion), die in ihren Einrichtungen einer Compressionspumpe gleichen (Fig. 111), und wo durch heftiges Zusammenpressen der Luft ein Stück Zunder entzündet werden kann, gehört ebenfalls hierher. Bei zwölffacher Verdichtung entsteht im Cylinder eine Hitze von mehr als 120 Grad nach Réaumür. Tropfbare Körper erleiden dadurch keine Erwärmung, weil sie, auch mit der größten Gewalt, doch nur wenig zusammen drückbar sind, aber auch feste Körper erwärmen sich durch bloßes Zusammendrücken und Stoßen nur dann, wenn dieses sehr schnell und mit vorzüglicher Stärke erfolgt, wie bei dem Prägen der Münzen und dem Hämmern der Metalle. Dagegen ist die Wärmeerregung bedeutend, wenn Luft oder sonstige Gasarten, die eingeschlossen sind, eine Zusammenpressung erleiden, wie dieses bei dem eben erwähnten Feuerzeug sich zeigt. Ebenso wird auch Kälte erregt, d. h. Wärmeverschwinden, wenn diese Flüssigkeiten sich ausdehnen, ohne sich, wie bei dem Blasebalge, auch gleich wieder zusammenzuziehen. In den über 1100 Fuß tiefen

Fig. 111.

Digitized by Google

[illegible] 29 bis 25 Grad nach [illegible] 77 bis 80 Grad nach Fahrenheit zu bestimmen pflegt. Da [illegible] Bestimmung eines mittleren Barometerstandes für Gewächshäuser, Zimmer, Keller und Schwimmbäder [illegible], kann Niemand in Zweifel ziehen, der es weiß, daß die Luft- und Temperatur hier gleich nothwendig [illegible]. Ebenso kann auch die Temperatur, die man in den Tiefen der [illegible] Gewässer mit dem Thermometer macht, [illegible] nur dann interessant werden, wenn sie, daß es allen Untersuchungen über die [illegible] Verhältnisse der Meere zur Grundlage, und [illegible] Ströme und Meere [illegible], muß auch der Astronom, der [illegible] Kenntniß der [illegible] Erscheinungen, die ihm durch die Himmelsräume [illegible] Temperatur [illegible] Luft zu bringen hat, das Thermometer [illegible] Rathe ziehen. Da nun endlich die physikalische Geographie, [illegible] Zweck ist, [illegible] Thermometer zu verfertigen, gewonnen [illegible] [illegible] Höhenverhältnissen vermittelst des Barometers [illegible], [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] Thermometer unentbehrlich sind, [illegible] [illegible] Abnahme der Wärme [illegible] Oberfläche der Erde [illegible] [illegible] Tiefen, [illegible] wie die Abnahme derselben von [illegible] [illegible] [illegible] Erde hat, und dadurch ihren mächtigen Einfluß auf das Leben und Gedeihen der Thiere und Pflanzen, kennen gelernt hat. Um die Temperatur in den Tiefen der Erde zu untersuchen, z. B. [illegible] eines artesischen Brunnens, bedient man sich des **Geothermometers** oder Erdthermometers von **Magnus**. Dieses besteht aus einer Röhre, die oben [illegible] mit Quecksilber gefüllt ist. Wird diese Röhre in die Tiefe der Erde eingelassen, so fließt, durch die dort herrschende größere Wärme, ein Theil des Quecksilbers ab. Hat man sie nun wieder zurückgebracht, so setzt man sie in Wasser von bestimmter Temperatur, und erwärmt dieses so lange, bis das Quecksilber wieder die ganze Röhre anfüllt, wo dann ein anderes gewöhnliches Thermometer, das ebenfalls mit in dieses Wasser gestellt worden ist, den Wärmegrad anzeigt, der in der vorgehabten Tiefe stattfand. Anders ist das, nach seinem Erfinder benannte, **Sirthermometer** eingerichtet, dessen man sich auch bedienen kann, um die Temperatur in verschiedenen Meerestiefen zu untersuchen.

Bedenkt man die wichtigen Erfolge, die ein wenig Quecksilber, in einer gläsernen Röhre eingeschlossen, auf den Zustand unserer Kenntnisse von der Natur und deren Benutzung bereits gehabt hat, und noch hat, so muß man zugeben, daß jede Naturerscheinung, deren Gesetze wir zu erforschen vermögen, auch wenn sie noch so geringfügig sich ansieht, [illegible] rechenbare Folge habe, sowohl auf die Veredlung unseres Geistes, als auf die Verschönerung unseres [illegible]

überhaupt erregt:

§ 163. (Wärmeerregung [illegible]

1) Durch Reibung [illegible] die jedoch nach Beschaffenheit [illegible] sehr verschieden [illegible] Hände aneinander [illegible] Körpers vor [illegible] vermissen, [illegible] etwas betrügt [illegible]

Digitized by Google

sich die Hände verbrennen. Ein Wallfisch, den [illegible] hat, stürzt mit so großer Schnelligkeit in die [illegible] des Bordes, über welche das Seil der Harpune [illegible] mit Wasser begossen werden muß. Bohrer, [illegible] dergl. Instrumente werden beim Gebrauche, [illegible] bung stattfindet, oft glühend heiß. Dasselbe ist [illegible] die sich schnell umdrehen, mit Schleifsteinen, die [illegible] mit Wasser bespritzt, mit Eisen, das gehämmert [illegible] eiserne runde Platte mit Wasser füllt und [illegible] unten her schnell reibt, kann das Wasser [illegible] Selbst zwei Eisstücke von — $1^2/_3$° C., die [illegible] zen zu Wasser, und dieses hatte + $1^2/_3$° C. [illegible] Minuten lang in einer niedrigen Temperatur [illegible] weichere Holzart, die an einer härtern schnell [illegible] zuletzt. Reisebeschreiber erzählen, daß wilde [illegible] Mittels bedienen, um Feuer zu bekommen [illegible] einer Drehbank schnell herumgedreht wird [illegible] Ringe ein, indem er ein anderes Holz [illegible] die Achsen der Wagenräder nicht gehörig [illegible] bei'm schnellen Fahren erhitzen oder [illegible] Beispielen, die sich über die Erregung [illegible] dem täglichen Leben noch anführen [illegible] gen mit Stahl und Stein. Die Funken [illegible] nicht aus dem Steine, sondern von [illegible] durch das Anschlagen kleine Theile [illegible] bung glühend geworden sind. [illegible] und nach ab. Fängt man die Funken [illegible] tet sie dann durch ein gutes [illegible] abgetrennte Stahlstückchen sind.

Die Wärmeerregung durch [illegible] digend zu erklären [illegible] pressung des Wärmestoffs [illegible] eine Erhöhung der [illegible] Wirkung der [illegible] pyrion), die in ihren [illegible] gleichen (Fig. 111), [illegible] der Luft ein Stück Zunder [illegible] ebenfalls hierher. [illegible] Cylinder eine Hitze von mehr als [illegible] Tropfbare Körper erleiden [illegible] auch mit der größten Gewalt [illegible] bar sind, aber auch feste [illegible] Zusammendrücken und [illegible] und mit [illegible] Münzen [illegible]

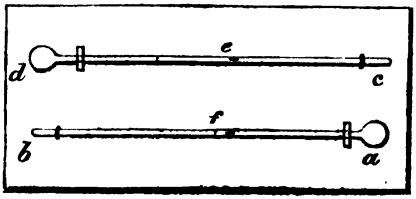
Fig. 111.

[illegible] n [illegible] o- [illegible] el [illegible] sser) [illegible] innen [illegible] Deckel [illegible] t. Wird [illegible] häuft, zu [illegible] krecht auf- [illegible] nometer nicht [illegible] Kraft dersel- [illegible] (Strahlmesser) [illegible] teit, (schwefelsau- [illegible] linder, an welchem [illegible] beliebige Theile ein- [illegible] Cylinder ist unten mit [illegible] den Stand der

Digitized by Google

Um den Grad der höchsten und niedrigsten Temperatur, welche innerhalb einer gewissen Zeit, z. B. während der Nacht, stattgefunden hat, gewahr werden zu können, hat man selbstregistrirende Thermometer oder Thermometerographen erfunden, die man auch, ihrer Bestimmung nach, Maximum- und Minimumthermometer nennt. Das von Rutherford ist am häufigsten im Gebrauch, und besteht aus einem Queckſilber- und einem Weingeiſtthermometer, die beide horizontal auf einem Bret befeſtigt ſind, und jedes mit einer Skale verſehen iſt (Fig. 132), und die jetzt ſo gemacht werden, daß in dem Röhrchen cd des Weingeiſtthermometers ein feines kleines Glasſtängelchen e liegt, welches mit dem Weingeiſt fällt, aber liegen bleibt, wenn er ſteigt, wodurch demnach der tiefſte Thermometerſtand ſichtbar wird, dieſes daher als Minimumthermometer dient. Im Queckſilberröhrchen ab liegt ein kleiner Stahlſtift f, welcher bei'm Steigen des Queckſilbers mit fortgeſchoben wird, bei'm Zurückgehn deſſelben aber liegen bleibt, und ſo den höchſten dageweſenen Thermometerſtand nachweiſ't, daher das Maximumthermometer iſt.

Fig. 132.




§ 159. (Luftthermometer.) Luft zum thermoſkopiſchen Körper zu haben, iſt in vielen Fällen, vorzüglich zur Erforſchung der Wirkung der Wärme auf die Expanſivkraft der Luft, von ſo weſentlichem Gebrauch, daß viele Phyſiker mit der Vervollkommnung des Luftthermometers ſich beſchäftigt haben. Die Einrichtung, die Lambert ihm gegeben hat, und die er in ſeiner 1779 zu Berlin erſchienenen Pyrometrie beſchreibt, iſt eine der vollkommenſten für dieſes Werkzeug. Es beſteht aus einer ungebognen Röhre ac (Fig. 133), die oben geſchloſſen iſt. An dem untern Ende der Röhre befindet ſich eine Kugel, die um Vieles weiter als die Röhre iſt. Ein Theil der Kugel enthält Luft, der übrige Theil aber iſt mit Queckſilber gefüllt, das etwa bis m in die Röhre hineinreicht, und über m iſt ein völlig luftleerer Raum. Da die Kugel ebenfalls geſchloſſen iſt, ſo iſt auch die Luft darin, die über dem Queckſilber ſteht, von der äußern Luft abgeſchnitten, und ihre Ausdehnung und Zuſammenziehung hängt bloß von der Zu- und Abnahme der Wärme ab. Wird nämlich die Luft in der Kugel auch noch ſo wenig erwärmt, ſo wird ihre Expanſivkraft ſchon hinlänglich genug vermehrt, und dadurch das Queckſilber über m gehoben. Nimmt die Wärme ab, ſo fällt das Queckſilber wieder zurück, indem die Luft ſich zuſammenzieht. Da aber die Kugel gegen die Röhre ſo beträchtlich weit iſt, ſo kann man ohne merklichen Fehler annehmen, daß das Queckſilber in der Röhre ſteigt und fällt, ohne daß dadurch das Volumen der Luft in der Kugel eine bedeutende Veränderung erleide. Sieht man daher dieſes Volumen wirklich als unveränderlich an, ſo beträgt nach Gay Luſſac ihre Ausdehnung vom Froſt- bis zum Siedepunkt 0,375 ihres Volumens (§ 156), was auch Lambert durch ſeine Verſuche gefunden hatte.

Fig. 133.

Digitized by Google

Wenn daher dm die Höhe des Queckſilbers bei'm Froſtpunkt iſt, und ms den Fundamentalabſtand bezeichnet, ſo daß der Siedepunkt an s liegt, ſo muß an s die Zahl 1375 ſtehen, wenn bei m die Zahl 1000 ſteht, und von denen zwiſchen m und s befindlichen Graden zeigt jeder, wegen der gleichförmigen Ausdehnung der Luft, die Expanſivkraft der in der Kugel eingeſchloſſenen Luft, in Vergleichung der Expanſivkraft, die ſie bei dem Froſtpunkte hat, genau an. Die Expanſivkraft der äußern Luft aber hängt zugleich auch von dem Stand des Barometers ab. Wird daher die Barometerhöhe in verſchiedenen Temperaturen mit den Anzeigen dieſes Luftthermometers in Verbindung gebracht, ſo kann man daraus die Expanſivkraft der Luft, in ſo weit ſie von der Wärme allein herrührt, meſſen und angeben.

Indeſſen hat man auch hierzu ſich des Queckſilberthermometers bedient, weil es überhaupt leichter als das Luftthermometer zu verfertigen und zu gebrauchen, und ſein Gang ebenfalls ziemlich gleichförmig iſt. Vergleicht man hiernach die Anzeigen des Luftthermometers mit jenen des Queckſilberthermometers, ſo läßt ſich daraus die von De Lüc angegebene Correction der Luft wegen der Wärme, die für barometriſche Meſſungen zu beachten iſt (§ 125), berechnen. Bedenkt man nämlich, daß das Luftthermometer vom Eis bis zum Siedepunkt um 0,375, das Queckſilberthermometer nach Réaumür aber um 80 zunimmt, ſo kann man durch die Regel Detri finden, welche Zahl am Froſtpunkt des Luftthermometers ſtehen muß, wenn ſein Fundamentalabſtand ebenfalls in 80 Grade getheilt wird, indem man ſchließt: wenn die Zunahme bis zum Siedepunkt 375 beträgt, muß am Froſtpunkt 1000 ſtehen; wie viel muß an dieſem Punkte bemerkt werden, wenn an dem Siedepunkt 80 ſtehen ſoll? Alſo: $375 : 1000 = 80 : x$; daher $x = 213\frac{1}{3}$.

Will man demnach die Réaumür'ſche Skale in die Skale des Luftthermometers verwandeln, ſo darf man nur $213\frac{1}{3}$ zu den Graden nach Réaumür addiren. Demnach betragen $16\frac{3}{4}$ Grad nach Réaumür, als die von De Lüc angegebene Mittelzahl zwiſchen der untern und obern Wärme der freien Luft (§ 125), für das Luftthermometer $230\frac{1}{12}$. Steigt das Thermometer auf $17\frac{3}{4}$ Grad, ſo gebe dieſes am Luftthermometer $231\frac{1}{12}$. Demnach iſt für einen Grad nach Réaumür in dem angegebenen Fall das Verhältniß wie 1 zu $1\frac{1}{230}$, wenn man den Bruch $\frac{1}{12}$ nicht achtet. De Lüc nahm, ſeinen Verſuchen zufolge, $\frac{1}{215}$ ſtatt $\frac{1}{230}$ an.

Man macht auch Luftthermometer in der Form der gewöhnlichen Thermometer, bei denen an einer hohlen Glaskugel ein enges, oben offenes Röhrchen ſitzt, in das man ein wenig Queckſilber zur Abſperrung der äußern Luft einläßt. Die Temperatur wird hier durch die Ausdehnung und Zuſammenziehung der abgeſperrten Luft gemeſſen, was man an der abſperrenden Flüſſigkeit ſehen kann. Theils der Widerſtand, den die abſperrende Flüſſigkeit den Ausdehnungen der eingeſchloſſenen Luft an den Wänden des Röhrchens entgegenſetzt, theils auch der äußere Luftdruck, machen jedoch dieſes Thermometer zum gewöhnlichen Gebrauche untauglich, deſto beſſer eignet es ſich aber zur Meſſung hoher Hitzegrade, ſo wie zur Wahrnehmung ſehr geringer Temperaturveränderungen. Regnault hat die Anzeigen dieſes Thermometers mit denen des Centeſimal-Queckſilberthermometers durch viele und genaue Verſuche verglichen, und gefunden, daß 0; 50; 100; 150; 200; 250; 300; 325; 350 Grade des Luftthermometers ſich vergleichen mit 0; 50,2; 100; 150; 200; 250,3;

Digitized by Google

ſtäbe cd und ef auf, daß ſie bei c und e um 0,5 Zoll von einander abſtehen, durch ihre ſchräge Lage aber ſich einander nähern, und d von f nur noch 0,3 Zoll weit abſteht. Von dem vordern weitern Ende bis zum hintern engern Ende iſt jeder Stab in 240 gleich Theile getheilt. In der vordern Oeffnung der Stäbe paßt ein auf dem Eiſenblech getrockneter Thonwürfel genau ein. Wird nun ein ſolcher Würfel einer noch größeren Hitze ausgeſetzt, ſo ſchwindet er noch mehr, und läßt ſich dann weiter zwiſchen die Stäbe einſchieben. Soll nun die Hitze eines Eiſens, eines Schmelzofens, oder was es ſonſt ſey, beſtimmt werden, ſo ſetzt man einen Thonwürfel zwiſchen die Stäbe, und bemerkt, wie weit er ohne Zwang hineinpaßt. Dann bringt man ihn an den Ort, deſſen Hitze gemeſſen werden ſoll, läßt ihn eine ziemliche Weile dort liegen, nimmt ihn wieder heraus, und bringt ihn, wenn er ſich abgekühlt hat, abermals zwiſchen die Stäbe. Da er in der Hitze geſchwunden iſt, ſo kann er jetzt ohne Zwang tiefer in die Stäbe ſich einſchieben. Die Stelle, wo er nunmehr paßt, zeigt dann die Hitze des Orts an, die man zu wiſſen verlangte. Durch Verſuche, die Wedgwood mit einem ſilbernen Stabe anſtellte, und deſſen Ausdehnung er vom Froſtpunkte bis zur Rothglühhitze ſehr ſorgfältig zu beſtimmen ſuchte, konnte er, bei der Annahme, daß die Ausdehnung gleichförmig fortſchreite, was zwar nicht ganz genau richtig, doch hinlänglich zur Schätzung iſt, berechnen, auf welchem Grad des Queckſilberthermometers der Anfang der Rothglühhitze fallen müſſe, und ſo fand er, daß dieſes mit dem 1077ſten Grad (eigentlich $1077\frac{1}{2}$) nach Fahrenheit zuſammenſtimme; dieſes iſt demnach der Wedgwood'ſche Nullpunkt. Hierauf brachte er die Silberſtange in eine noch größere Hitze, und aus der Vergleichung ihrer jetzigen Ausdehnung mit der für die Rothglühhitze fand er dann, daß ein Grad ſeines Pyrometers 130 Fahrenheitiſche Grade betrage. Wedgwood'ſche Grade werden demnach in Fahrenheitiſche verwandelt, wenn man dieſe 130 mal nimmt und 1077 dazu addirt.

Der erſte Grad nach Wedgwood beträgt demnach 1207 Grad nach Fahrenheit, und der letzte oder 240ſte Grad nach Wedgwood entſpricht dem 32277ſten Grad nach Fahrenheit. So nützlich aber auch Wedgwood dieſes Pyrometer zu ſeinem Gebrauche in ſeinen Steingutfabriken fand, ſo leidet es doch an ſolchen unbeſiegbaren Unvollkommenheiten, daß er ſelbſt ſpäterhin keine mehr anfertigen ließ. Außer den Würfeln, deren erdige Mengung ſehr unbeſtimmt auszuführen iſt, wodurch ſie denn auch in ihrer Zuſammenziehung in der Hitze ſehr veränderlich ausfallen, liegt ein Hauptmangel dieſes Pyrometers in der Beſtimmung ſeines Nullpunkts, die an Zuverläſſigkeit jener des Thermometers weit nachſteht, da die Rothglühhitze und die Ausdehnung des Silbers, worauf die Skale des Inſtruments beruhet, durchaus keine haltbare ſichere Grundlage darbietet. Außer Newton, der zu ſ. Z. ſchon damit umging hohe Hitzegrade, durch die Zeit zu beſtimmen, die ein erhitzter Körper bedarf um wieder zu erkalten, fanden ſich daher in neuerer Zeit viele Phyſiker bewogen u. A. Pouillet, Daniell, Prinſep, allerlei andere Arten Pyrometer in Vorſchlag zu bringen, die aber alle, da ſie ebenfalls mit ſolchen großen Fehlern behaftet ſind, daß dadurch ihre Reſultate höchſt unſicher werden, noch gar viel zu wünſchen übrig laſſen.

§ 162. (Nutzen der Wärmemeſſer.) Nicht umſonſt, nicht aus Sucht zu glänzen, haben ſo viele ausgezeichnete Gelehrte ihre Sorgfalt und Aufmerkſamkeit der Vervollkommnung des Thermometers und Pyrometers gewidmet. Die Ueberzeugung, daß genaue Wärmemeſſer von der größten

Digitized by Google

Wichtigkeit seyen, hat alle Forschungen geleitet, die diesen Instrumenten seit ihrer Erfindung zu Theil geworden sind. Wenn es nicht geleugnet werden kann, daß die Chemie, und mit ihr alle technische Gewerbe, seit einem Jahrhundert ungeheure Fortschritte gemacht haben, daß Siedereien, Brauereien, Brennereien, Färbereien und so viele andere Fabrikanstalten gegenwärtig auf einer Stufe stehen, von der man früherhin keine Ahnung hatte, so haben diese Werkzeuge, namentlich das Thermometer, keinen geringen Antheil daran, wie Jeder einsehen wird, der darüber nachdenkt, von welcher Wichtigkeit die Kenntniß eines bestimmten Wärmegrads der Luft und sonstiger Materien für solche Anstalten seyn mußte. Auch hat man, seitdem man gelernt hat, genaue Thermometer zu verfertigen, und ihre Anzeigen übereinstimmend zu machen, eine Menge in technischer Hinsicht merkwürdiger Wärmegrade beobachtet. Einige davon sind in folgender Tabelle enthalten; von den nebenstehenden Zahlen beziehen sich die mit R. bezeichneten auf Réaumür'sche, die mit F. bezeichneten auf Fahrenheit'sche und die mit W. bezeichneten auf Wedgwood'sche Grade.

| | R. | F. | W. |
|---|---|---|---|
| Nordhäuser Vitriol friert | —36—40. | —49—58. | |
| Burgunder und Maderawein „ | —5,3. | +20. | |
| Queckfilber „ | —32. | —40. | |
| Baumöl wird zähe | +2,71. | +38. | |
| Hammelstalg schmilzt | 40,9. | 124. | |
| Butter „ | 24. | 86. | |
| Gelbes Wachs „ | 48. | 140. | |
| Weingeist siedet | 64. | 176. | |
| Kuhmilch „ | 79,1. | 210. | |
| Schwefel schmilzt | 91,2. | 237. | |
| Zinn „ | 165. | 403. | |
| Blei „ | 226. | 540. | |
| Queckfilber siedet | 282. | 666. | |
| Desgl. nach Professor Heinrich | 285. | 673½. | |
| Eisen leuchtet im Dunkeln | 320. | 752. | |
| „ „ am Tage | 430. | 1000. | |
| „ glühet roht bei Tage | 464. | 1077. | 0. |
| Emailfarbe einzubrennen | 811. | 1857. | 6. |
| Messing schmilzt | 1678. | 3807. | 21. |
| Kupfer „ | 2024. | 4587. | 27. |
| Fein Silber „ | 2082. | 4717. | 28. |
| „ Gold „ | 2313. | 5237. | 32. |
| Schweißhitze des Eisens, kleinste | 5664. | 12777. | 90. |
| „ „ „ größte | 5953. | 13427. | 95. |
| Hitze einer Schmiedeesse | 7687. | 17327. | 125. |
| Gußeisen schmilzt | 7976. | 17977. | 130. |
| Schmiedeisen „ | 9593. | 21617. | 158. |
| Platin „ | 10286. | 23177. | 170. |
| Verglasung des englischen Steinguts | 6935. | 15637. | 112. |
| Feinstes chinesisches Porcellan wird weich | 9478. | 21357. | 156. |

(Vergl. Frankfurter Gewerbfreund 1. Jahrg. Seite 82.)

Sehr viele und nützliche Bereicherungen sind durch das Thermometer auch der Arzneikunde und der Naturgeschichte zu Theil geworden. Schon von dem ersten, noch unvollkommenen Lufthermometer behauptete Sanctorius, daß er sich seiner mit vielem Vortheil zum Wohl seiner Patienten bediene. Den vollkommenern Thermometern verdanken wir die Kenntniß von der natürlichen Wärme des menschlichen Bluts, die 99 Fahrenheit oder 30 Réaum. Grad beträgt, und die sichere Zurichtung lauer Bäder,



Digitized by Google

die oft von so wesentlichen Einfluß auf Erhaltung und Wiedererlangung der Gesundheit ist, und die man, in der Regel, von 20 bis 25 Grad nach Reaum. oder von 77 bis 88 Grad nach Fahrenh. zu bestimmen pflegt. Wie wichtig die sichere Bestimmung eines gewissen Wärmegrads für Gewächshäuser, Menagerien, Hospitäler und Wohnzimmer ist, kann Niemand in Abrede stellen, der da weiß, daß das Zuviel und Zuwenig hier gleich nachtheilig wirken. Ueberhaupt kann aber die Anwendung, die man in allen Theilen der gesammten Naturwissenschaft von dem Thermometer macht, einzeln gar nicht aufgezählt werden. Nicht nur, daß es allen Untersuchungen über die einflußreichen Wirkungen der Wärme zur Grundlage, und der ganzen Chemie zum Wegweiser dient, muß auch der Astronom, der in vielen Fällen bei seinen Berechnungen, die ihn durch die Himmelsräume leiten, die Temperatur in Anschlag zu bringen hat, das Thermometer zu Rathe ziehen. Wie viel endlich die physikalische Geographie, seit man im Stande ist, sehr genaue Thermometer zu verfertigen, gewonnen hat, ist, außer bequemeren Höhenmessungen vermittelst des Barometers, wozu, wie gezeigt worden ist, sehr empfindliche Thermometer unentbehrlich sind, auch in der Auffindung der belehrenden Verhältnisse zu sehen, aus denen man den Zustand der Wärme von der Oberfläche der Erde bis zu bekannten Höhen und Tiefen, so wie die Abnahme derselben von dem Aequator bis zu den Polen hin, und dadurch ihren mächtigen Einfluß auf das Leben und Gedeihen der Thiere und Pflanzen, kennen gelernt hat. Um die Temperatur in den Tiefen der Erde zu untersuchen, z. B. die eines artesischen Brunnens, bedient man sich des Geothermometers oder Erdthermometers von Magnus. Dieses besteht aus einer Röhre, die oben offen und ganz mit Queckſilber gefüllt ist. Wird diese Röhre in die Tiefe der Erde eingelassen, so fließt, durch die dort herrschende größere Wärme, ein Theil des Queckſilbers ab. Hat man sie nun wieder zurückgebracht, so setzt man sie in Wasser von bestimmter Temperatur, und erwärmt dieses so lange, bis das Queckſilber wieder die ganze Röhre ausfüllt, wo dann ein anderes gewöhnliches Thermometer, das ebenfalls mit in dieses Wasser gestellt worden ist, den Wärmegrad anzeigt, der in der vorgehabten Tiefe stattfand. Anders ist das, nach seinem Erfinder benannte, Sixthermometer eingerichtet, dessen man sich auch bedienen kann, um die Temperatur in verschiedenen Meerestiefen zu untersuchen.

Bedenkt man die wichtigen Erfolge, die ein wenig Queckſilber, in einer gläsernen Röhre eingeschlossen, auf den Zustand unserer Kenntnisse von der Natur und deren Benutzung bereits gehabt hat, und noch hat, so muß man zugeben, daß jede Naturerscheinung, deren Gesetze wir zu erforschen vermögen, auch wenn sie noch so geringfügig sich ansieht, unberechenbare Folge habe, sowohl auf die Veredlung unseres Geistes, als auf die Verschönerung unseres irdischen Lebens.

§ 163. (Wärmeerregung.) Wärme wird überhaupt erregt:

1) Durch Reiben. Wie sehr hierdurch Wärme erregt wird, die jedoch nach Beschaffenheit der Körper, die aneinander gerieben werden, sehr verschieden ist, kann man an sich selbst erfahren, wenn man die Hände aneinander reibt, oder diese Operation mit andern Theilen seines Körpers vornimmt. Durch schnelles und heftiges Reiben können Seile dermaßen erhitzt werden, daß sie sich entzünden. Läßt man sich von einer etwas beträchtlichen Höhe an einem Seile haltend herunter, so kann man

Digitized by Google

sich die Hände verbrennen. Ein Wallfisch, den die Harpune getroffen hat, stürzt mit so großer Schnelligkeit in die Tiefe, daß die Stelle des Bordes, über welche das Seil der Harpune reibend hinstreift, stets mit Wasser begossen werden muß. Bohrer, Hobeln, Sägen, Feilen und dergl. Instrumente werden beim Gebrauche, wo immer eine heftige Reibung stattfindet, oft glühend heiß. Dasselbe ist der Fall mit Mühlsteinen, die sich schnell umdrehen, mit Schleifsteinen, die man eben deßhalb öfters mit Wasser bespritzt, mit Eisen, das gehämmert wird. Wenn man eine eiserne runde Platte mit Wasser füllt und sie mit einer andern Platte von unten her schnell reibt, kann das Wasser bis zum Kochen sich erhitzen. Selbst zwei Eisstücke von — $1^2/_3{}^0$ C., die Davy aneinander rieb, schmolzen zu Wasser, und dieses hatte + $1^2/_3{}^0$ C., nachdem es sogar einige Minuten lang in einer niedrigen Temperatur gestanden hatte. Eine weichere Holzart, die an einer härtern schnell gerieben wird, entzündet sich zuletzt. Reisebeschreiber erzählen, daß wilde Völkerschaften sich dieses Mittels bedienen, um Feuer zu bekommen. In ein Stück Holz, das auf einer Drehbank schnell herumgedreht wird, brennt der Drechsler schwarze Ringe ein, indem er ein anderes Holz sich daran reiben läßt. Würden die Achsen der Wagenräder nicht gehörig eingeschmiert, so könnten sie sich bei'm schnellen Fahren erhitzen oder gar entzünden. Unter die Menge von Beispielen, die sich über die Erregung der Wärme durch das Reiben aus dem täglichen Leben noch anführen ließen, gehört auch das Feueranschlagen mit Stahl und Stein. Die Funken, die dadurch entstehen, kommen nicht aus dem Steine, sondern von dem Stahle her. Von diesem werden durch das Anschlagen kleine Theile getrennt, die durch die schnelle Reibung glühend geworden sind. Der Stahl nutzt sich eben dadurch nach und nach ab. Fängt man die Funken mit einem Papier auf, und betrachtet sie dann durch ein gutes Mikroskop, so sieht man deutlich, daß es abgetrennte Stahlstückchen sind.

Die Wärmeerregung durch Reibung sucht man dadurch ziemlich befriedigend zu erklären, daß die damit verbundene Zusammenpressung des Wärmestoffs in einen engern Raum nothwendig eine Erhöhung der Temperatur zur Folge haben müsse. Die Wirkung der pneumatischen Feuerzeuge (Tachopyrion), die in ihren Einrichtungen einer Compressionspumpe gleichen (Fig. 111), und wo durch heftiges Zusammenpressen der Luft ein Stück Zunder entzündet werden kann, gehört ebenfalls hierher. Bei zwölffacher Verdichtung entsteht im Cylinder eine Hitze von mehr als 120 Grad nach Réaumür. Tropfbare Körper erleiden dadurch keine Erwärmung, weil sie, auch mit der größten Gewalt, doch nur wenig zusammen drückbar sind, aber auch feste Körper erwärmen sich durch bloßes Zusammendrücken und Stoßen nur dann, wenn dieses sehr schnell und mit vorzüglicher Stärke erfolgt, wie bei dem Prägen der Münzen und dem Hämmern der Metalle. Dagegen ist die Wärmeerregung bedeutend, wenn Luft oder sonstige Gasarten, die eingeschlossen sind, eine Zusammenpressung erleiden, wie dieses bei dem eben erwähnten Feuerzeug sich zeigt. Ebenso wird auch Kälte erregt, d. h. Wärmeverschwinden, wenn diese Flüssigkeiten sich ausdehnen, ohne sich, wie bei dem Blasebalge, auch gleich wieder zusammenzuziehen. In den über 1100 Fuß tiefen

Fig. 111.

Digitized by Google

Bergwerken zu Schemnitz in Ungarn, wo durch eine von Höll erfundene Maschine das Wasser aus den tiefen Gruben mittelst stark zusammengepreßter Luft herausgeschafft wird, entsteht bei deren schnellen Ausdehnung, nach dem Abfluß des Wassers, eine so große Kälte, daß beträchtliche Eisklumpen mit herausfahren, und daß ein nasses Tuch erstarrt, wenn es dem Luftstrom ausgesetzt ist.

Entgegen der Annahme, daß die Ursache der Wärmeerregung durch Reiben in der Zusammenpressung oder Verdichtung des Wärmestoffs läge, wird nach der Wellentheorie diese Erscheinung durch die Annahme zu erklären gesucht, daß durch das Reiben die Atome eines Körpers in stärkere Schwingungen gerathen, die sich dann dem Aether mittheilen, wobei man sich u. A. auch auf die Versuche des Grafen Rumford beruft, der gefunden hat, daß durch schnelles Umdrehen eines Körpers in einer Flüssigkeit eine sehr große ganz unbeschränkte Menge Wärme frei wird, ohne daß man annehmen könne, daß auch eine fortwährende Verdichtung dabei im Spiel wäre.

2) Durch die Sonnenstrahlen. Die Sonne ist ohne Widerrede die eigentliche Quelle der Wärme, namentlich für die Oberfläche der Erde, doch etwa und vielleicht nur in so fern, daß ihre Strahlen den Wärmestoff aus den Körpern entbinden. Für sich selbst enthalten, glaubt man dann, diese Strahlen wahrscheinlich keinen Wärmestoff, weil, sagt man, die Sonne sich längst an Wärmestoff erschöpft haben müsse, bei der ungeheuern Spendung, die sie, seit die Welt steht, täglich zu leisten habe, und weil nach dem Untergang der Sonne es doch oft noch sehr warm bleibt. Andere Naturforscher, zu denen auch der berühmte Astronom Herschel gehört, haben jedoch darüber eine entgegengesetzte Meinung, und glauben aus Versuchen behaupten zu können, daß die Sonne auch Wärmestrahlen aussende. Ueberhaupt gehört aber die Erregung der Wärme durch die Sonnenstrahlen bis jetzt zu den Erscheinungen, die nicht genügend erklärt werden können. Selbst diejenigen, welche annehmen, daß die Sonne selbst keinen Wärmestoff aussende, sind doch keineswegs über die Art, wie sie Wärme errege, mit einander einig. Manche behaupten, es geschehe dieses dadurch, daß die Sonnenstrahlen den Wärmestoff aus den irdischen Körpern entwickeln, indem sie auf dieselbe stoßen, andere aber sind der Meinung, daß die Sonnenstrahlen nur die innere Kraft des Wärmestoffs, der in den Körpern enthalten ist, verstärken, ihn aber nicht erst daraus frei machen, und wieder anders ist die Meinung derer, die der Wellentheorie huldigen. Wie so vieles Andere gehört auch die Erregungsart der Wärme durch die Sonnenstrahlen zu den Stellen im Buche der Natur, die dem irdischen Verstand dunkel bleiben, und bei denen er sich nur an der Thatsache, an Erfahrungen halten kann. Diese bestehen darin: daß die Sonnenstrahlen desto kräftiger wirken, je länger ihre Dauer ist, vorzüglich aber je gerader sie die Oberfläche eines Körpers treffen, d. i. je mehr sie sich der senkrechten Richtung nähern. Unter verschiedenen Himmelsstrichen und in verschiedenen Jahreszeiten muß daher die Wirkung der Sonnenstrahlen unterschiedentlich seyn. Im Winter, wo wir der Sonne beträchtlich näher als im Sommer sind, ist es eben darum doch so kalt, weil ihre Strahlen schräg zu uns gelangen. Schräge Flächen, wie Dächer, die nach der Mittagsseite liegen, und daher im Winter senkrecht von der Sonne beschienen werden, können auch in dieser Jahreszeit eine so beträchtliche Erwärmung erleiden, daß der Schnee darauf schmilzt, während er auf

Digitized by Google

horizontalen Flächen, die im Winter nur von schiefen Strahlen getroffen werden, liegen bleibt. Auch dann wirken die Sonnenstrahlen desto kräftiger, je mehr sie verdichtet werden. Brennspiegel und Brenngläser liefern hierzu Belege. Endlich hängt auch die mehr oder minder kräftige Wirkung der Sonnenstrahlen von der materiellen Beschaffenheit der Körper und deren Farbe ab. Körper, die das Licht durch sich hindurch gehen lassen, wie Glas, werden durch die Sonnenstrahlen bei weitem weniger erwärmt, als die andern, die undurchsichtig sind. Selbst durch Linsen aus hart gefrornem Eise können, ohne daß sie schmelzen, brennbare Körper entzündet werden. So ist es auch mit der Luft; ist diese trübe und mit Dünsten beladen, so haben die Sonnenstrahlen nur wenig Kraft, und diese wächst, je mehr die Luft an Klarheit und Durchsichtigkeit gewinnt. Im hohen Norden, wo die Luft sehr klar und durchsichtig ist, haben die Sonnenstrahlen eine so große Kraft, daß sie im Stande sind, das Pech an den Schiffen zu schmelzen, und in einem dort nur oberflächlich aufgethauten Boden in einigen Sommermonaten Früchte zur Reife zu bringen. Von den undurchsichtigen Körpern werden aber auch die hellfarbigen viel weniger als die dunkelfarbigen, am meisten werden aber die schwarzfarbigen erwärmt. Thermometer mit schwarzen Kugeln stehen höher, als andere, deren Kugeln aus hellem Glase bestehen, so wie auch geschwärzte Wände unter gleichen Umständen mehr Wärme verbreiten, als andere, die hell angestrichen sind.

Fig. 136.

Indessen ertragen doch die Neger und farbigen Menschen die Hitze der heißen Zone besser, als die Weißen. Allein außerdem, daß hier der Organismus und die Gewohnheit mit in Anschlag kommen, ist auch bei jenen Menschen die Beschaffenheit der Haut von der Art, daß die innere Wärme wieder besser nach außen geleitet wird, als dieses bei der viel glättern Haut weißer Menschen der Fall ist. Die Bewohner der nördlichen Länder, die, wie z. B. die Lappländer, ihre Haut durch Ueberstreichung mit Thran sehr glätten, haben darum auch eine größere innere Wärme, da die überstrichene, wenig porose Haut die innere Wärme nicht so leicht fortleitet, und die äußere Kälte besser abhält.

Um die Stärke (Intensität) der Sonnenstrahlen in der Verschiedenheit ihrer direkten Wärmekraft messen zu können, hat man eigne Werkzeuge erfunden. Zu diesen gehören u. A. das Heliothermometer von Saussure und das Aktinometer von Herschel d. jüngern. Das Heliothermometer (Sonnenwärmemesser) besteht aus einem gewöhnlichen Thermometer in einem von innen und außen schwarz angestrichenen hölzernen Kasten, dessen Deckel mit einer Glasscheibe, oder auch mit mehreren, versehen ist. Wird nun dieses Werkzeug, in welchem sich die Wärme anhäuft, zu verschiedenen Zeiten und jedesmal so lange den senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen ausgesetzt, bis das Thermometer nicht weiter steigt, so läßt sich die ungleich erwärmende Kraft derselben daraus wahrnehmen. Das Aktinometer (Strahlmesser) (Fig. 136) besteht aus einem mit einer Flüssigkeit, (schwefelsaurem Kupferammoniak) gefüllten gläsernen Cylinder, an welchem eine engere gläserne Röhre, mit einer in beliebige Theile eingetheilten Skale, angeschmolzen ist. Der Cylinder ist unten mit einem Kolben versehen, durch den man den Stand der Flüs-

Digitized by Google

sigkeit in der Skalenröhre reguliren kann. Bei'm Gebrauche regulirt man erst den Stand der Flüssigkeit auf Null der Skalenröhre, beobachtet nun ihren Stand im Schatten, dann in den Sonnenstrahlen und abermals in dem Schatten, jedesmal eine Minute lang. Die beiden Höhen im Schatten werden addirt, und die Hälfte derselben (die Mittelzahl) von dem Stand der Flüssigkeit in dem Sonnenschein abgezogen. Der Rest zeigt die Einwirkung der Sonnenstrahlen für 1 Minute. Multiplicirt man diesen Rest mit 6,1 so gibt dieses ein Product, durch welches, nach Herschel, die Einwirkung aller Sonnenstrahlen bestimmt wird, welche in ihrem senkrechten Auffallen hinreichen würden eine Eisschicht von 1 Milliontel Meter Dicke in 1 Minute zu schmelzen, und hiernach berechnete man, daß eine Eisschicht von wenigstens 85 Fuß Dicke auf der Erde von der jährlichen Sonnenwärme geschmolzen werden könnte. Nach Versuchen, die Herschel mit seinem Aktinometer auf dem Cap der guten Hoffnung anstellte, fand er dort die Strahlung der Sonne $48^3/_4$, in Europa $29^1/_2$ Grad. Weiter fanden auch Forbes und Kämtz mit diesem Apparat, daß die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen bei ihrem Durchgang durch die Atmosphäre in der Art geschwächt werde, daß sie an der Oberfläche der Erde um $^1/_5$ geringer sey, als in einer Höhe von 6000 Fuß, unter gleichen Umständen. Ein anderes Verhältniß der Sonnenwärme fand Pouillet durch seine Versuche mit seinem Pyrheliometer. Derselbe stellte auch mit einer andern Art Aktinometer viele Versuche an zur Bestimmung der Wärme, welche der Erde aus dem Himmelsraum zukommt, und seine darauf gegründeten Berechnungen ergaben das merkwürdige Resultat, daß zwar die Temperatur dieses Raumes 142° C. unter Null sey, daß aber demungeachtet die Wärme, die er der Erde gibt, nur $^1/_6$ weniger betrage als die der Sonne. Ob auch die Mondstrahlen eine Wärme erzeugende Kraft haben ist eine Streitfrage, nach den neuesten genauesten Untersuchungen erzeugen sie jedoch keine meßbare Wärme.

Daß es auf hohen Bergen auch mitten im Sommer dennoch so kalt ist, daß es überhaupt in höher liegenden Gegenden, besonders wenn sie eine freie Lage haben, nicht so heiß wird, als an tiefer liegenden, daran ist, einigen Naturforschern nach, die Beschaffenheit des Wärmestoffs schuld, der an der Oberfläche der Erde dichter als auf Höhen ist. Andere sind der Meinung, daß in der Höhe, zumal wenn sie beträchtlich ist, zu wenig Körper vorhanden sind, aus denen die Sonnenstrahlen Wärme entwickeln, oder dessen innere Kraft sie verstärken könnte. Vorzüglich leitet man aber die niedere Temperatur in zunehmender Höhe davon ab, daß mit deren Zunahme die Luft fortwährend dünner, durchsichtiger und beweglicher werde, und daß die erwärmende Luft, die aus Thälern und Ebenen in die Höhe steigt, sich zu sehr ausdehne, und diese Ausdehnung zu viel Wärme binde und unthätig mache. Der Erfahrung gemäß ist jedoch diese Abnahme im Sommer rascher als im Winter, am Tage rascher als bei Nacht. Allgemeinhin, wenn einzelne einwirkende Ursachen, deren es hier gar manche gibt, unberücksichtigt bleiben, kann man nährungsweise annehmen, daß für 500 — 600 Fuß senkrechter Höhe die Wärmeabnahme 1° C. betrage.

Wie nun mit der Höhe eine wachsende Abnahme, so findet dagegen mit der Tiefe eine stete Zunahme der Wärme statt. Viele Versuche und Beobachtungen, die man in den verschiedendsten weit aus einander liegenden Ländern, angestellt hat, deren nähern Angaben und Folgen jedoch in das Gebiet der physikalischen Geographie zu verweisen sind, lassen keinen

Digitized by Google

Zweifel übrig, daß dieſe Zunahme von einer Wärme herrührt, die dem Innern der Erde eigenthümlich iſt, und daß man in der Regel annehmen könne, daß für 100 — 150 Fuß zunehmender Tiefe die Wärmezunahme 1° R. betrage. Viele Naturforſcher ſind geneigt, in dieſer fortwährenden Zunahme die Urſache der hohen Temperatur der warmen Quellen, der arteſiſchen Brunnen, ſelbſt der Vulkane und Erdbeben zu ſuchen, allein es iſt noch ganz unentſchieden, bis zu welcher Tiefe dieſe Zunahme fortſchreitet. Während nun die Luft ſich dadurch erwärmt, daß ſie einen Theil der Sonnenſtrahlen verſchluckt, ein anderer von der Erde in ſie zurückfährt, erhöhet ſich ihre Wärme auch durch den Theil der innern Erdwärme, der ihr von dorther zukommt. Von dieſen beiden Umſtänden hängt die Temperatur eines jeden Orts der Erde ab, und wie ſchwankend dieſe auch ſeyn mag, ſo lehrt doch die aus vielen Verſuchen abgeleitete Erfahrung, daß es für jeden Ort eine jährliche mittlere Temperatur gibt, die ſich ziemlich gleich bleibt. Wenn man aber Orte, die eine gleiche jährliche Mitteltemperatur haben, auf der Karte durch eine Linie mit einander verbindet, ſo weicht die Richtung derſelben bei einigen mehr, bei andern weniger von ihren Parallelkreiſen ab, und ſchneidet dieſe unter irgend einem Winkel. Dergleichen Linien werden, nach A. v. Humboldt, der ſie zuerſt eingeführt hat, Iſothermen (Linien gleicher Jahreswärme) genannt. Verſchieden von den Iſothermen iſt jedoch die Richtung der Linien, welche ſolche Orte mit einander verbinden, die entweder gleiche Sommer- oder gleiche Winterwärme haben, jene werden Iſotheren, dieſe Iſochimenen genannt.

3) Chemiſche Miſchungen ſind ebenfalls ſehr wirkſame Mittel der Wärmeerregung, vorzüglich dann, wenn mit der Miſchung eine große Veränderung in den Eigenſchaften der gemiſchten Körper vorgeht; ſo daß dadurch entweder der Aggregatzuſtand oder die Dichtigkeit eine mehr oder mindere Zunahme erleidet. Wo dieſes nicht der Fall iſt, wie z. B. bei der Vermiſchung des Waſſers mit geiſtigen Getränken, mit ſalzigen Körpern, wird nur wenig Wärme frei, und die Erregung der Wärme iſt dann unbedeutend. Die ſtärkſte Wärmeerregung durch chemiſche Miſchung findet aber bei der chemiſchen Verbindung eines brennbaren Körpers mit Sauerſtoffgas ſtatt. Ein brennbarer Körper, deſſen chemiſche Verwandtſchaft zum Sauerſtoff ſo ſtark iſt, daß er ſich ſchnell mit ihm verbindet, kann in dem Augenblick, wo die Verbindung ſtatt hat, bis zum Glühen erhitzt, und daher leuchtend werden. Sind in den brennbaren Körpern Theile vorhanden, die ſich in hoher Temperatur verflüchtigen, ſo wird durch die ſchnelle Verbindung mit dem Sauerſtoff die Flamme erzeugt. Daher rührt denn die Selbſtentzündung ſo vieler Körper, wenn ſie in den Zuſtand gerathen, daß ſie den Sauerſtoff der atmoſphäriſchen Luft von dem Stickſtoff trennen und mit ſich verbinden können. Immer iſt hierzu eine gewiſſe Temperatur erforderlich.

Phosphor entzündet ſich von ſelbſt in der atmoſphäriſchen Luft bei einer Temperatur von etwa 30 Grad nach Reaumür; Schwefel erfordert dagegen ſchon ein Temperatur von 120 Grad, und die Kohle eine noch höhere. Bei allen dergleichen Selbſtentzündungen wird eine große Menge Wärme frei, die am größten bei der Entzündung der Knallluft iſt (§ 133. III). Ueberhaupt aber kann, wenn die Temperatur den erforderlichen Grad hat, durch jede Auflöſung, Gährung, Verwitterung, Verweſung und gehörig bedingte Vermiſchung eine Selbſtentzündung erfolgen. Auf dieſe Weiſe entzünden

Digitized by Google

sich Heu, Getraide, Mehl und viele andere vegetabilische Körper, wenn sie durch Feuchtigkeit in Gährung und Fäulniß gerathen, und dem Zutritt der freien Luft ausgesetzt sind. Hanf, Flachs und viele andere Körper entzünden sich von selbst, wenn sie mit Oel oder Fett benetzt werden, eine Zeit lang fest zusammengeballt liegen, und dann an einen warmen Ort gerathen, wo die fettigen Theile wieder verdunsten können.

Mehl, Grütze, gemahlener Kaffee, Sägespäne ꝛc. ꝛc., die man stark röstet und in Leinwand zusammenpackt, entzünden sich gleichfalls von selbst. Im Ganzen genommen, gibt es in allen drei Reichen der Natur viele Körper, die sich unter den erforderlichen Bedingungen unwiderstehlich von selbst entzünden, und wo nur durch vorsichtige Behandlung Feuersgefahr vermieden werden kann. Beispiele von Unglücksfällen, die durch unvorsichtige Aufbewahrung des Flachses, Hanfes, Heues, fettiger Wolle, durch das Trocknen nasser leinener und wollener Wäsche am heißen Ofen, durch Malzdörren und Röstungen entstanden sind, gehören nicht zu den seltenen. Eine der merkwürdigsten und schrecklichsten Erscheinungen von Selbstentzündungen ist wohl die, daß Menschen, oft ohne alle äußere Ursache, von innen aus in sich selbst verbrannt sind. An die Wahrheit der Erscheinung läßt sich, nach den Zeugnissen sehr einsichtsvoller Naturforscher und der glaubwürdigsten Männer, gar nicht zweifeln, obschon sie glücklicherweise zu den seltenen gehört. Die Gräfin Zangari hat im 62sten Jahr ihres Alters auf diese schreckliche Weise ihr Leben geendet. Diese Frau, die gewohnt war, sich öfters den ganzen Leib mit Kampferspiritus zu waschen, wurde Morgens, zu einem Haufen Asche verbrannt, vor ihrem Bette gefunden, in welches sie sich des Abends vorher gesund, nur etwas unmuthig, gelegt hatte. Ein ähnlicher Fall ereignete sich mit einer Frau von 29 Jahren. Personen, die an einen übermäßigen Genuß geistiger Getränke sich gewöhnt haben, oder auch nur äußerlich zu oft als Waschmittel sie gebrauchen, sind freilich der Gefahr, ihr Leben auf eine so schreckliche Weise zu enden, am meisten ausgesetzt, allein auch ohne solche Veranlassung kann dieser Zustand eintreten, wenn durch Umstände, die freilich nicht leicht anzugeben sind, eine bedeutende Menge Phosphorwasserstoffgas in dem Körper entwickelt und durch Berührung mit Sauerstoffgas entzündet wird. Wenn man gleiche Theile gebrannten Alaun, kohlensäuerliches Kali (eine aus der Asche verbrannter Pflanzen gewonnene Substanz) und Kienruß mit einander mengt, und das Gemenge eine Stunde lang der Rothglühhitze aussetzt, so erhält man ein schwärzliches Pulver, das sich an feuchter Luft oder durch Anhauchen von selbst entzündet. Dieses Pulver ist unter dem Namen Pyrophor (Selbstzünder, Luftzünder) bekannt. Eben so wird auch viel Wärme frei, wenn Wasser auf gebrannten Kalk gegossen, Eisen, Schwefel und Wasser mit einander vermischt werden, wie man dieses unter andern auch bei der Bereitung des Wasserstoffgases und des kohlensauren Gases (§ 133) wahrnehmen kann. Der Chemiker weiß eine Menge von Erscheinungen anzugeben, wo durch Mischung verschiedener Flüssigkeiten, oder durch Auflösung fester Körper ein sehr hoher Grad von Wärme uud Hitze erregt wird, obgleich die dazu gebrauchten Körper, an und für sich, völlig kalt sind. In viel größerm Maßstabe bietet die Natur solche Erscheinungen dar. So finden sich fast in allen Ländern siedheiße Quellen, wie z. B. die Wiesbadner Quelle, die seit undenklichen Zeiten sprudeln, und nicht über Feuer gekocht werden, sondern durch die innere Erdwärme und aus der Vermischung des Wassers

Digitized by Google

mit mineralischen Körpern entstehen. Des Unheils, welches durch Selbstentzündungen auf chemischem Wege in Bergwerken oft schon sich ereignet hat, ist früher bereits erwähnt worden (§ 133). Am furchtbarsten aber zeigt sich die Macht und die Wirkung der Wärmeerregung durch chemische Auflösung bei dem Ausbruch feuerspeiender Berge, wo oft ganze Lager von Schwefelkiese durch eine unterirdische Verbindung mit dem Meere, in dessen Nachbarschaft auch immer die Vulkane liegen, aufgelöst und entzündet werden.

Hierher gehören auch die chemischen Feuerzeuge, bei welchen durch die chemische Zersetzung des chlorsauren Kalis durch Schwefelsäure eine schnelle Entzündung mit Flamme erzeugt wird; sie bestehen aus mit Schwefelsäure getränkten Asbestfädchen, welche die Schwefelsäure einsaugen, und die man in einem mit einem Stöpsel versehenen Gläschen aufbewahrt. Die Zündhölzchen, welche durch das Auftupfen auf die Schwefelsäure sich entzünden, sind gewöhnliche Schwefelhölzchen, mit etwas chlorsaurem Kali an einem Ende. Auch die Streichfeuerzeuge sind der Art. Bei diesen braucht man die Zündhölzchen nur auf einer rauhen Fläche zu reiben, um sie mit Flamme zu entzünden. Diese Hölzchen haben am Ende chlorsaures Kali mit etwas Schwefel und Spießglanz vermischt. Bei weitem die wichtigste und bekannteste Substanz, die in dem Augenblick der Entzündung mit heftigem Knalle verbrennt (explodirt), ist das Schießpulver; welches aus einem Theil Kohle, einem etwas größeren Theil Schwefel und etwa sechs Theilen Salpeter besteht, die auf der Pulvermühle fein zerstampft und zermahlen, innigst mit einander vermengt und zu kleinen Körnern gebildet werden, damit durch deren Zwischenräume die Flamme rasch sich verbreiten könne. Bei der raschen Verbrennung und der damit verbundenen vollkommenen Zersetzung dieser drei Ingredienzien bildet sich Kohlensäure, aus der Vereinigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff des Salpeters und Stickstoffgas, das dann aus dem Salpeter frei wird, während das Kali (Pottaschmetall) des Salpeters mit dem Schwefel zu Schwefelkalium sich verbindet. Salpeter und Kohle, aus denen die beiden Gasarten sich bilden, sind nun zwar als die wesentlichen Bestandtheile des Schießpulvers zu betrachten, dennoch ist aber auch der Schwefel unentbehrlich, denn außerdem, daß er zur Vermehrung der Kohlensäure beiträgt, wird auch, bei der sehr hohen Temperatur, welche in dem Augenblick stattfindet, wo die beiden Gasarten verbrennen, das Schwefelkalium in einen elastischen Dampf verwandelt, wodurch die Elastizität der Gase noch vergrößert wird. Die sehr große Wirkung des Schießpulvers liegt in der ungeheuren Raumvergrößerung der beiden Gasarten bei deren raschen Entzündung. Diese nehmen schon in einer Temperatur von 0 Grad 370mal so viel Raum, als das Pulver ein, vergrößern aber denselben bei einer Hitze von 800° C., die nach Gay Lüssac bei der Entzündung entsteht, noch viermal (für jeden Grad um $^1/_{200}$. § 155. III.) und würden sich daher auf 1480mal größeren Raum ausdehnen, wenn die Wandungen des Schießgewehrs es zuließen, wodurch aber auch ein Druck erzeugt wird, der 1480mal größer ist, als der Druck der Luft, der auf einen Quadratzoll 15 ℔ geträgt (§ 108), was einen Druck von 22200 ℔ gegen einen Quadratzoll Fläche gibt. Aehnliche Bewandtniß hat es auch mit der großen Wirkung der Schießbaumwolle (Pyroxilin), die Schönbein und Böttger entdeckt haben, eine Ehre, die jedoch von Andern ihnen bestritten wird. Die Bereitung derselben erfordert eine gut gereinigte

Digitized by Google

Baumwolle, die dann in höchst concentrirte Salpetersäure getaucht, in Wasser gewaschen, dann getrocknet und wiederholt so behandelt wird. Durch den Sauerstoff in dieser Baumwolle wird bei der Entzündung die Kohlensäure und das Stickstoffgas verbrannt und üben dann eine noch kräftigere Wirkung als das Schießpulver aus, ohne einen so starken Knall zu veranlassen. Es gibt auch noch manche andere Arten von explodirenden Substanzen, u. A. Knallgold, Knallsilber Knallqueckſilber u. s. w., deren Wirkung ebenfalls auf einer raschen Verbrennung eingeschlossener Gasarten beruhet, und unter denen das Knallqueckſilber besonders wichtig ist, weil es in den kupfernen Zündhütchen enthalten ist, deren man sich zum Losbrennen der Schießgewehre bedient, die mit einem Perkussionsschloß versehen sind.

So findet bei jeder Verbrennung eine chemische Verbindung zweier oder mehrerer Stoffe statt, wobei allemal der Sauerstoff mit im Spiele seyn muß, da ohne denselben kein Verbrennen möglich ist. Jede Verbrennung ist daher nichts anders als ein Oxydationsproceß. Zur Unterhaltung einer Verbrennung ist aber zugleich auch ein steter Zufluß von Wärme erforderlich, damit der brennende Körper auf der Temperatur sich erhält, die er zum Brennen bedarf, da er auslischt, wenn er diese Temperatur verliert. Woher ihm nun dieser Zufluß kommt, da die erforderliche Menge weder in dem Sauerstoff noch in dem brennenden Körper selbst vorhanden ist, bleibt dabei eben so unentschieden, als man den Grund angeben kann, warum manche Körper so leicht, andere so schwer sich entzünden lassen. So entzünden sich viele Stoffe noch leichter als Phosphor und Pyrophore, z. B. Kalium im Wasser bei jeder Temperatur, während der Diamant nur äußerst schwer, eine Wachskerze erst bei etwa 300 Grad in diesen Zustand geräth.

Die Verbindungen, die sich bei einer Verbrennung bilden, sind aber bei einer raschen und vollständigen Verbrennung anders, als bei einer langsamen und unvollständigen. Bei dieser, die im gemeinen Leben an Lichtern und Feuerungen am häufigsten vorkommt, bleibt viel Material unverbrannt, und fliegt als Rauch davon, der in den Schornsteinen und Kaminen, wo er erkaltet, Ruß ansetzt, was nicht stattfinden würde, wenn das Material vollständig verbrennte. Eben so ist der üble Geruch, wenn sich Haare oder andere Stoffe versengen, kochende Milch überläuft, Löschpapier glimmt und dergl. mehr, eine Folge einer unvollständigen Verbrennung, da bei einer vollständigen Verbrennung dieser Stoffe ein solcher Geruch nicht empfunden wird. Eine Verbrennung wird aber desto vollständiger, je mehr Sauerstoff zu dem brennenden Körper treten kann, und dazu bedient man sich der Blasebälge, so wie allerlei Einrichtungen für Lampen und Feuerungsapparate.

4) Außer der Elektrizität, die in einem besonderen Kapitel vorkommt, ist auch der animalische, wahrscheinlich auch der vegetabilische Lebensproceß als wärmeerregend zu erwähnen, besonders in dem Körper der Thiere, die warmes Blut haben und durch Lungen athmen. Diese animalische Wärme, die bei dem Menschen sich constant auf 29 — 30 Grad erhält, bei den Vögeln aber größer als bei den Säugethieren ist, entsteht, nach den Untersuchungen berühmter Chemiker, nicht nur durch das Athmen, sondern auch im Innern durch chemische Einwirkung verschiedener Gasarten, durch die Nahrungsmittel und deren Verdauung.

§ 164. (Mittheilung der Wärme.) **Wenn zwei Körper von verschiedenem**

Digitized by Google

Wärmegrad sich berühren, so theilt der wärmere Körper dem kältern so lange Wärme mit, bis sie beide zu gleicher Temperatur gelangt sind. Ist dieser Zustand eingetreten, so hört die Mittheilung auf, und dann befinden sich die Körper rücksichtlich des Wärmegrads in einem Gleichgewicht, welches das thermometrische heißt.

Daß Körper, die nicht im thermometrischen Gleichgewicht sind, durch die Mittheilung der Wärme in dieses Gleichgewicht sich zu versetzen suchen, ist eine Erfahrung, die jeder Mensch stets an seinem eigenen Körper wahrnehmen kann. Berührt man z. B. einen Körper mit der Hand, so theilt diese dem Körper Wärme mit, wenn er kälter als die Hand ist, im umgekehrten Fall theilt er der Hand Wärme mit. Je nachdem der eine oder der andere Fall stattfindet, nennt man auch einen Körper warm oder kalt. Eben darum sind die Ausdrücke heiß, warm, lau, laulich, kühl und kalt so sehr relativ, daß oft schon zwei Personen darüber nicht zusammenstimmen, und Mancher es oft da heiß oder kalt findet, wo ein Anderer sich ganz behaglich fühlt. Sogar einer und derselbe menschliche Körper bleibt sich in diesen Empfindungen nicht gleich, und findet, nach der jedesmaligen Temperatur seines Körpers, die Temperatur eines andern bald so, bald anders. Bei kalter Witterung kann man ein Zimmer von etwa 10 R. Grad Wärme, besonders wenn man eben aus der freien Luft in das Zimmer kommt, ziemlich angenehm finden; ist aber das thermometrische Gleichgewicht mit der Zimmerwärme hergestellt, so findet man es zu kalt. Noch im April sieht man oft betagte Leute und schwächliche Personen sich sonnen, wo die Jugend es schon längst zu heiß findet. Gut gewölbte Keller, wo es im Winter so kalt als im Freien, und im Sommer nicht so heiß wird, findet man in jener Jahreszeit warm, in dieser ziemlich kühl. Hat man sich eben in warmem Wasser gewaschen, so kann man einen Körper, den man dann berührt, kalt finden, den man vor dem Waschen nicht so gefunden hätte.

§ 165. (Wärmeleiter.) Die Mittheilung der Wärme, die nie gehemmt werden kann, geschieht jedoch für denselben Wärmegrad, bald geschwinder, bald langsamer, indem es Körper gibt, welche die Wärme leicht und schnell und andere, welche sie schlecht und langsam fortleiten. Viele Naturforscher haben über die Fähigkeit der Körper, die Wärme fortzuleiten, sowohl durch ihre eigene ganze Masse, als auch nach andern, mit denen sie in Berührung sind, interessante Versuche angestellt, ohne jedoch bis jetzt ein allgemeines Gesetz dafür gefunden zu haben. Einzelne Gesetze, die aber nicht ohne Ausnahmen sind, haben durch Erfahrungen und Nachdenken sich herausgestellt, und nützliche Anwendungen veranlaßt. So weiß man z. B., daß auf die Zeit des Erkaltens die Größe der Oberfläche eines Körpers nicht ohne Einfluß ist. Je kleiner diese Oberfläche bei gleicher Masse ist, je langsamer erkaltet der Körper. Eine eiserne Kugel von vier Pfund erkaltet z. B. langsamer, als bei gleichem Wärmegrad ein eben so schweres Stück desselben Eisens, das eine andere Form hat, weil bei gleicher Masse der Kugelform die geringste Oberfläche zukommt. Außerdem kommt auch in dieser Hinsicht viel auf den größern oder geringern Grad der Rauhigkeit der Oberfläche an. Je blanker diese ist, desto schlechter leitet sie die Wärme fort.

Die besten Wärmeleiter unter den festen Körpern sind die Metalle, allein auch bei diesen ist die Leitungsfähigkeit sich keineswegs gleich. Nach welcher Ordnung in dieser Hinsicht die Metalle auf einander folgen, hat

Digitized by Google

man durch Versuche zu bestimmen gesucht, allein es haben diese verschiedene Resultate geliefert. Nach einigen bildet die Leitungsfähigkeit von den bessern zu den schlechtern folgende Reihe: Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Messing. Diesem Versuch nach leitete Blei besser als Eisen, dagegen nach Ingenhouß, wo die Reihe so zu stellen wäre: Silber, Gold, Zinn, Kupfer, Eisen, Platin, Blei, Blei geringer als Eisen. Die besonders genauen Versuche, die Böckmann deßhalb angestellt hat, lieferten folgende Ordnung: Wismuth, Spießglanz, Queckfilber, Blei, Zinn, Gold, Silber, Nickel, Zink, Messing, Kupfer, Eisen; und letzteres ist demnach der schlechteste Wärmeleiter unter den Metallen, fast um dreimal schlechter als Blei befunden worden. Man kann die Leitungsfähigkeit eines Metalls dadurch prüfen, indem man auf einer erhitzten Metallmasse andere Metalle erhitzt, und nun die Zeit bemerkt, die sie, wenn sie unter gleichen Umständen wieder verkühlen, zu der Abkühlung gebrauchen. Schon Newton bediente sich dieses Mittels, um große Grade von Hitze dadurch zu bestimmen. Man kann aber auch diese Fähigkeit dadurch prüfen, daß man die Zeit bemerkt, die verschiedene Metalle gebrauchen, um sich durch einen gewissen Raum auf einen gewissen Wärmegrad unter gleichen Umständen zu erhitzen. Beide Prüfungsmethoden, die nach Böckmann sich keineswegs gleich sind, haben so verschiedene Resultate geliefert, auf die aber auch noch sonst viele Nebenumstände von großem Einfluß waren. Auch Biot und späterhin Depretz stellten über die Leitungsfähigkeit der Metalle und anderer Körper interessante, mit vieler Vorsicht ausgeführte Versuche an, und bedienten sich hierzu Stäbe, die alle von gleicher Gestalt, und so eingerichtet waren, daß in angebrachten gleich weit von einander abstehenden Vertiefungen Thermometer eingesetzt werden konnten. Das eine Ende der Stäbe wurde in einer Wärmequelle erhitzt, und der Versuch so lange fortgesetzt, bis jedes der angebrachten Thermometer einen bleibenden Stand angenommen hatte. Depretz entfernte die Thermometer, eins von dem andern, um 10 Centimeter, so daß ihre auf einanderfolgenden Abstände von der Wärmequelle in einer arithmetischen Reihe zunahmen, und fand den Ueberschuß der Wärme gegen die äußere Temperatur für den Kupferstab in dem ersten Abstand zu 66,36, in dem zweiten zu 46,28, in dem dritten zu 32,62, in dem vierten zu 24,32, in dem fünften zu 18,63 Grad, u. s. w., welche Zahlen paarweise, wie sie zunächst auf einander folgen, den Quotienten 1,4 ergeben. Aehnliches ergab sich bei den Versuchen mit andern Metallstäben, und Depretz leitete hieraus das Gesetz ab, daß die Leitungsfähigkeit der Metalle von der Wärmequelle an in einer geometrischen Reihe abnehme für Entfernungen, die in einer arithmetischen Reihe zunehmen. Auch stellte Depretz für die Leitungsfähigkeit der Metalle folgende Reihe auf: Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Zink, Zinn, Blei, eine Reihenfolge, gegen welche erhebliche Zweifel erhoben worden sind. Jedenfalls nimmt die Wärme, bis sie durch die ganze Masse eines Körpers sich verbreitet, nur sehr langsam zu. Legt man z. B. eine Metallstange mit dem einen Ende in geschmolzenes Blei, so ist einige Fuß weit von diesem Ende, obgleich man das Blei im geschmolzenen Zustand erhält, die Wärme fast schon unmerklich, und eine 7—8 Fuß lange eiserne Stange muß an dem einen Ende schon sehr stark erhitzt werden, um an dem andern Ende ihre Temperatur nur um 1 Grad zu erhöhen.

Obgleich nun die Leitungsfähigkeit der Metalle nicht von ihrer Dich-

Digitized by Google

tigkeit abhängt, so ist es doch eine ausgemachte Wahrheit, daß gerade die Metalle, welches doch die dichtesten Körper sind, die größte Leitungsfähigkeit besitzen. Alle andere feste Körper sind bei weitem schlechtere Wärmeleiter. Die Leitungsfähigkeit verschiedener Holzarten nimmt, nach Mayer, in folgender Ordnung ab: Tanne, Föhre, Birnbaum, Sommereiche, Pflaumenbaum, Weißbuche, Ebenholz; wobei zu bemerken, daß alle Holzarten die Wärme nach der Richtung der Fasern am besten leiten. Einer der schlechtesten Wärmeleiter ist Kork. Sehr lockere Körper sind meistens auch sehr schlechte Wärmeleiter. Außer den Holzarten gehören in diese Klasse: Asche, Kohlen, Papier, Wolle, Baumwolle, Seide, Leinwand, Pelzwerk, Moos, Haare, Stroh, Federn ꝛc. ꝛc.

§ 166. (Anwendungen.) Die Kenntniß von der Leitungsfähigkeit der festen Körper wird zu gar mancherlei Anwendungen benutzt, und schlechte Wärmeleiter immer da angewandt, wo man die Wärme so viel als möglich zusammenhalten oder abhalten will. Zum Warmhalten taugen daher am besten schlechte Wärmeleiter, weil diese die Wärme nicht so leicht fortleiten. Darum kleidet man sich im Winter lieber in Wolle, als in Baumwolle und Leinen, und belegt dann auch die Stubenböden gern mit wollenen Teppichen. Bäume und Brunnenröhren hüllt man um diese Jahreszeit in Stroh, und Kellerlöcher belegt man mit Mist, um die innere Wärme gefangen zu halten. Stroh ist überhaupt ein so schlechter Wärmeleiter, daß es unter einem Strohdach im Sommer kühler ist, weil die äußere Wärme nicht so leicht durchgeleitet wird, im Winter hingegen ist es unter einem solchen Dache wärmer, weil die innere Wärme mehr zusammengehalten wird. Eisgruben müssen darum in Holz aufgeführt und mit Stroh bedeckt seyn, wenn man in den Sommermonaten Eis darin erhalten will. Ein Stück Papier unter einem Glase schützt dieses vor dem Zerspringen, wenn man es auf den warmen Ofen stellt. Stuben mit steinernen Wänden brauchen längere Zeit zum erwärmen, als andere, deren Wände von Holz sind. Handhaben metallner Gefäße werden mit Holz oder Stroh umgeben, um sie im erhitzten Zustand daran fassen zu können. Streuet man ein wenig Asche in die Hand, so kann man eine glühende Kohle damit halten, ohne sich zu verbrennen. Menschen, deren innere Handfläche mit einer harten hornartigen Haut sich überzogen hat, können dergleichen heiße Körper auch mit bloßer Hand halten, weil Horn ebenfalls zu den schlechten Leitern gehört. Lockerer Schnee gehört ebenfalls zu den schlechten Wärmeleitern, daher er die Wintersaat vor dem Erfrieren schützt, und zur Wiedererwärmung erstarrter Menschen dient. Auch hat man schon öfters Vorschläge zur künstlichen Bereitung schlechter Wärmeleiter gemacht, theils um Menschen und Gebäude gegen Feuersgefahr zu beschützen, und überhaupt leicht verbrennliche Körper unverbrennlicher zu machen, theils auch um mit mehr Oekonomie zu heizen und zu kochen. So kann z. B. durch ein Gemenge von einem Theil Vitriolsäure, vier Theile Alaun und sechszehn Theile Wasser ein Mittel bereitet werden, wodurch man sich, seine Kleidungsstücke und andere leicht verbrennliche Körper gegen sehr große Hitze schützen kann, so wie man durch eine hinlängliche Beimischung von Alaun Wasser lange gegen das Gefrieren schützen kann. Holz, das man mit einem aus drei Theilen geschlämmten Lehm, einem Theile geschlämmten Thon und einem Theile Roggenmehlkleister bestehenden Gemenge anstreicht, entzündet sich ebenfalls nicht. Deßgleichen auch, wenn der Anstrich aus in Wasser aufgelöster

Digitized by Google

Potasche mit Lehm und Kleister besteht. Nimmt man in die eine Hand einen guten, in die andere einen schlechten Wärmeleiter, so wird man in jener länger ein Gefühl von Kälte haben, als in dieser. Durch dieses Merkmal lassen sich schon ächte Steine von falschen einigermaßen unterscheiden, da jene bessere Wärmeleiter sind, als diese.

§ 167. (Einfluß der Farbe.) Der Einfluß der Farbe, dessen bei der Erregung der Wärme durch die Sonnenstrahlen erwähnt worden ist, äußert sich auch wieder bei der Fortleitung der Wärme. Dunkelfarbige Körper leiten die Wärme besser als hellfarbige fort. Füllt man einen hohlen blechernen Würfel, dessen vier Seitenwände von innen und außen vier verschiedene Farben haben, z. B. weiß, schwarz, braun und gelb, mit heißem Wasser, so zeigen hineingehaltene Thermometer den größten Wärmegrad an der schwarzen, den kleinsten an der weißen Wand. Nur muß das Wasser im Würfel überall gleich hoch, mithin der Boden des Würfels genau horizontal stehen, damit die Thermometer an jeder Wand gleich tief im Wasser seyn können. Gewöhnliche Thermometer sind hierzu jedoch nicht empfindlich genug, daher man besser diesen merkwürdigen Versuch mit Luftthermometern anstellt. Legt man verschiedenfarbige Tuchlappen auf Schnee, den eben die Sonne bescheint, so schmilzt er rascher unter den dunkeln als unter den hellen Farben, am schnellsten unter dem schwarzen, am langsamsten unter einem weißen Lappen weg. Schon durch das Einsinken der aufgelegten Lappen kann man dieß wahrnehmen, da die dunkeln stets tiefer, als die hellen einsinken. Hellfarbige Stoffe sind daher im Winter bessere Zusammenhalter der innern Wärme, im Sommer hingegen bessere Abhalter der äußern Wärme als dieselben Stoffe in dunkeln Farben, was für Kleidungsstücke zu beachten wäre, aber von der Mode nicht immer berücksichtigt wird. Aus eben dem Grunde sind auch schwarze Oefen zu schnellerer Zimmererwärmung geschickter als hell glasirte, wenn beide sonst gleiche Einrichtung haben.

Nebst der Farbe hat auch die größere oder geringere Rauhigkeit der Oberfläche der Körper vielen Einfluß auf die Leitungsfähigkeit derselben; je rauher die Oberfläche ist, desto leichter leitet sie die Wärme fort. Darum bleiben auch Flüssigkeiten in polirten Gefäßen länger heiß, als in solchen, deren Oberflächen rauh sind, und unglasirte Oefen heizen schneller, als glasirte.

§ 168. (Strömungen.) Durch die ganze Masse eines festen Körpers theilt sich die Wärme so mit, daß sie von Theil zu Theil sich fortpflanzt, wenn sie in einem der Theile auf irgend eine Weise erregt worden ist. Bei einem flüssigen Körper findet nun zwar auch dieselbe Art von Mittheilung statt, allein, wegen der geringen Cohäsion dieser Körper, so sehr langsam, daß der Graf von Rumford, dessen sehr schätzbaren Versuchen über die Wärme wir manchen neuen Aufschluß zu verdanken haben, sie ganz in Abrede zu stellen sucht. Viel schneller und wirksamer leitet sich die Wärme durch die ganze Masse eines flüssigen Körpers, wenn sie in einzelnen Theilen desselben erregt wird, durch Bewegung der erwärmten Theile fort. Diese Bewegung besteht hier demnach in Strömungen. Wird z. B. Wasser in einem Gefäß von unten her erhitzt, so steigen die erwärmten Theile, indem sie sich ausdehnen und dadurch specifisch leichter werden, in die Höhe, und theilen so den kältern, die abwärts steigen, Wärme mit, indem sie sich berühren, bis dann diese zuletzt die Stelle des Gefäßes erreichen, wo die Wärme zunächst erregt wird, und ihrerseits sich nun

Digitized by Google

ausdehnen und in die Höhe steigen. Durch diese Strömungen erfolgt die Erwärmung der ganzen Masse ziemlich schnell. Zum Unterschied der Mittheilung durch die Masse eines festen Körpers nennt man diese Mittheilung durch Strömung auch das fortführende Vermögen der Wärme. Wenn man eine Glasröhre mit Wasser füllt, und sie, schief über eine Weingeistflamme haltend, von unten her vorsichtig erwärmt, so kann man diese Strömungen sehen, besonders wenn man grob gepulvertes Siegellack oder grob gepulverten Bernstein in das Wasser thut, wodurch die Strömungen noch sichtbarer werden. Wirft man dergleichen Pulver in ein mit Wasser gefülltes Trinkglas, und wird dieses von unten her mit Vorsicht erhitzt, so kann man in den Wirbeln, in welche die gepulverten Körperchen dann gerathen, ebenfalls diese Strömungen wahrnehmen. Wird aber der flüssige Körper von oben her erhitzt, z. B. dadurch, daß man ein glühendes Eisen nahe an den Wasserspiegel hält, so findet keine Strömung statt, und die Erwärmung der Wassermasse von oben nach unten geht dann sehr langsam vor sich. Befestigt man auf den Boden eines etwas hohen Gefäßes ein Stück Eis, auf welches man erst einen ziemlichen Theil kaltes, dann siedendes Wasser gießt, doch letzteres so langsam und vorsichtig, daß das kalte Wasser nicht in Strömungen geräth, so kann es sehr lange dauern, bis das unterste Wasser so warm wird, daß das Eis schmilzt, statt es in einigen Minuten geschieht, wenn das Eis auf dem Wasser schwimmt, und dieses von unten aufwärts erwärmt wird. So kann auch an einem heißen Sommertage die Oberfläche eines stehenden, noch mehr eines fließenden Wassers, angenehm warm seyn, während es in einiger Tiefe beträchtlich kälter ist.

Auch die Luft, wenn sie trocken ist, gehört im ruhigen Zustande zu den schlechten Wärmeleitern. Darum auch Luftschichten, die zwischen einer Wand und der Tapete eingesperrt sind, die Wärme eines Zimmers zusammenhalten. Hierin liegt dann auch der Nutzen der Vorfenster und Vorthüren. Weite Kleider und Mäntel halten deßhalb auch wärmer als enge Kleider, weil zwischen ihnen und dem Körper eine Luftschichte lagert, durch welche die Wärme des Körpers besser zusammengehalten wird. Ist aber die Luft feucht, so leiten die Dünste, die sich dann niederschlagen, die Wärme weit stärker fort, weßhalb auch eine naßkalte Witterung empfindlicher als eine trockene Kälte ist. Eine Luftmasse, die nicht ruhig ist, gehört, auch trocken, zu den guten Wärmeleitern. Darum kann man sich in einem Luftzug so leicht verkälten. Ist nämlich eine Luftmasse in Bewegung, so finden, wenn einzelne Theile dieser Masse erwärmt werden, ähnliche Strömungen, wie bei einer von unten aus erwärmten Wassermasse statt. Die erwärmten Lufttheile dehnen sich aus und steigen in die Höhe, dagegen die kältern Lufttheile an den Ort hingelangen, von wo aus die Erwärmung erfolgt. Dort angelangt, werden auch sie erwärmt, wo sie dann wieder aufwärts steigen. Durch diese Strömungen wird dann ein mit Luft erfüllter Raum bald durchwärmt, und ohne sie könnte man lange warten, bis die Wärme, die von einem Ofen ausgeht, ein Zimmer heizte. Zimmer, die sehr hoch sind, lassen sich daher nicht so geschwind erwärmen, als niedrigere, weil natürlich hier eine längere Zeit darauf geht, bis die obern Luftschichten nach unten zu liegen kommen. Indessen wird auch in einem noch so hohen Zimmer die obere Luft doch endlich erwärmt werden, da die Dichtigkeit der obern Luft von der der untern hier auf keinen Fall so sehr verschieden ist, daß nicht die untere Luft, wenn sie einmal erwärmt

Digitized by Google

sich Heu, Getraide, Mehl und viele andere vegetabilische Körper, wenn sie durch Feuchtigkeit in Gährung und Fäulniß gerathen, und dem Zutritt der freien Luft ausgesetzt sind. Hanf, Flachs und viele andere Körper entzünden sich von selbst, wenn sie mit Oel oder Fett benetzt werden, eine Zeit lang fest zusammengeballt liegen, und dann an einen warmen Ort gerathen, wo die fettigen Theile wieder verdunsten können.

Mehl, Grütze, gemahlener Kaffee, Sägespäne ꝛc. ꝛc., die man stark röstet und in Leinwand zusammenpackt, entzünden sich gleichfalls von selbst. Im Ganzen genommen, gibt es in allen drei Reichen der Natur viele Körper, die sich unter den erforderlichen Bedingungen unwiderstehlich von selbst entzünden, und wo nur durch vorsichtige Behandlung Feuersgefahr vermieden werden kann. Beispiele von Unglücksfällen, die durch unvorsichtige Aufbewahrung des Flachses, Hanfes, Heues, fettiger Wolle, durch das Trocknen nasser leinener und wollener Wäsche am heißen Ofen, durch Malzdörren und Röstungen entstanden sind, gehören nicht zu den seltenen. Eine der merkwürdigsten und schrecklichsten Erscheinungen von Selbstentzündungen ist wohl die, daß Menschen, oft ohne alle äußere Ursache, von innen aus in sich selbst verbrannt sind. An die Wahrheit der Erscheinung läßt sich, nach den Zeugnissen sehr einsichtsvoller Naturforscher und der glaubwürdigsten Männer, gar nicht zweifeln, obschon sie glücklicherweise zu den seltenen gehört. Die Gräfin Zangari hat im 62sten Jahr ihres Alters auf diese schreckliche Weise ihr Leben geendet. Diese Frau, die gewohnt war, sich öfters den ganzen Leib mit Kampferspiritus zu waschen, wurde Morgens, zu einem Haufen Asche verbrannt, vor ihrem Bette gefunden, in welches sie sich des Abends vorher gesund, nur etwas unmuthig, gelegt hatte. Ein ähnlicher Fall ereignete sich mit einer Frau von 29 Jahren. Personen, die an einen übermäßigen Genuß geistiger Getränke sich gewöhnt haben, oder auch nur äußerlich zu oft als Waschmittel sie gebrauchen, sind freilich der Gefahr, ihr Leben auf eine so schreckliche Weise zu enden, am meisten ausgesetzt, allein auch ohne solche Veranlassung kann dieser Zustand eintreten, wenn durch Umstände, die freilich nicht leicht anzugeben sind, eine bedeutende Menge Phosphorwasserstoffgas in dem Körper entwickelt und durch Berührung mit Sauerstoffgas entzündet wird. Wenn man gleiche Theile gebrannten Alaun, kohlensäuerliches Kali (eine aus der Asche verbrannter Pflanzen gewonnene Substanz) und Kienruß mit einander mengt, und das Gemenge eine Stunde lang der Rothglühhitze aussetzt, so erhält man ein schwärzliches Pulver, das sich an feuchter Luft oder durch Anhauchen von selbst entzündet. Dieses Pulver ist unter dem Namen Pyrophor (Selbstzünder, Luftzünder) bekannt. Eben so wird auch viel Wärme frei, wenn Wasser auf gebrannten Kalk gegossen, Eisen, Schwefel und Wasser mit einander vermischt werden, wie man dieses unter andern auch bei der Bereitung des Wasserstoffgases und des kohlensauren Gases (§ 133) wahrnehmen kann. Der Chemiker weiß eine Menge von Erscheinungen anzugeben, wo durch Mischung verschiedener Flüssigkeiten, oder durch Auflösung fester Körper ein sehr hoher Grad von Wärme und Hitze erregt wird, obgleich die dazu gebrauchten Körper, an und für sich, völlig kalt sind. In viel größerm Maßstabe bietet die Natur solche Erscheinungen dar. So finden sich fast in allen Ländern siedheiße Quellen, wie z. B. die Wiesbadner Quelle, die seit undenklichen Zeiten sprudeln, und nicht über Feuer gekocht werden, sondern durch die innere Erdwärme und aus der Vermischung des Wassers

Digitized by Google

mit mineralischen Körpern entstehen. Des Unheils, welches durch Selbstentzündungen auf chemischem Wege in Bergwerken oft schon sich ereignet hat, ist früher bereits erwähnt worden (§ 133). Am furchtbarsten aber zeigt sich die Macht und die Wirkung der Wärmeerregung durch chemische Auflösung bei dem Ausbruch feuerspeiender Berge, wo oft ganze Lager von Schwefelkiese durch eine unterirdische Verbindung mit dem Meere, in dessen Nachbarschaft auch immer die Vulkane liegen, aufgelöst und entzündet werden.

Hierher gehören auch die chemischen Feuerzeuge, bei welchen durch die chemische Zersetzung des chlorsauren Kalis durch Schwefelsäure eine schnelle Entzündung mit Flamme erzeugt wird; sie bestehen aus mit Schwefelsäure getränkten Asbestfädchen, welche die Schwefelsäure einsaugen, und die man in einem mit einem Stöpsel versehenen Gläschen aufbewahrt. Die Zündhölzchen, welche durch das Auftupfen auf die Schwefelsäure sich entzünden, sind gewöhnliche Schwefelhölzchen, mit etwas chlorsaurem Kali an einem Ende. Auch die Streichfeuerzeuge sind der Art. Bei diesen braucht man die Zündhölzchen nnr auf einer rauhen Fläche zu reiben, um sie mit Flamme zu entzünden. Diese Hölzchen haben am Ende chlorsaures Kali mit etwas Schwefel und Spießglanz vermischt. Bei weitem die wichtigste und bekannteste Substanz, die in dem Augenblick der Entzündung mit heftigem Knalle verbrennt (explodirt), ist das Schießpulver; welches aus einem Theil Kohle, einem etwas größeren Theil Schwefel und etwa sechs Theilen Salpeter besteht, die auf der Pulvermühle fein zerstampft und zermahlen, innigst mit einander vermengt und zu kleinen Körnern gebildet werden, damit durch deren Zwischenräume die Flamme rasch sich verbreiten könne. Bei der raschen Verbrennung und der damit verbundenen vollkommenen Zersetzung dieser drei Ingredienzien bildet sich Kohlensäure, aus der Vereinigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff des Salpeters und Stickstoffgas, das dann aus dem Salpeter frei wird, während das Kali (Pottaschmetall) des Salpeters mit dem Schwefel zu Schwefelkalium sich verbindet. Salpeter und Kohle, aus denen die beiden Gasarten sich bilden, sind nun zwar als die wesentlichen Bestandtheile des Schießpulvers zu betrachten, dennoch ist aber auch der Schwefel unentbehrlich, denn außerdem, daß er zur Vermehrung der Kohlensäure beiträgt, wird auch, bei der sehr hohen Temperatur, welche in dem Augenblick stattfindet, wo die beiden Gasarten verbrennen, das Schwefelkalium in einen elastischen Dampf verwandelt, wodurch die Elastizität der Gase noch vergrößert wird. Die sehr große Wirkung des Schießpulvers liegt in der ungeheuren Raumvergrößerung der beiden Gasarten bei deren raschen Entzündung. Diese nehmen schon in einer Temperatur von 0 Grad 370mal so viel Raum, als das Pulver ein, vergrößern aber denselben bei einer Hitze von 800° C., die nach Gay Lüssac bei der Entzündung entsteht, noch viermal (für jeden Grad um $^1/_{200}$. § 155. III.) und würden sich daher auf 1480mal größeren Raum ausdehnen, wenn die Wandungen des Schießgewehrs es zuließen, wodurch aber auch ein Druck erzeugt wird, der 1480mal größer ist, als der Druck der Luft, der auf einen Quadratzoll 15 ℔ geträgt (§ 108), was einen Druck von 22200 ℔ gegen einen Quadratzoll Fläche gibt. Aehnliche Bewandtniß hat es auch mit der großen Wirkung der Schießbaumwolle (Pyroxilin), die Schönbein und Böttger entdeckt haben, eine Ehre, die jedoch von Andern ihnen bestritten wird. Die Bereitung derselben erfordert eine gut gereinigte

Digitized by Google

Baumwolle, die dann in höchst concentrirte Salpetersäure getaucht, in Wasser gewaschen, dann getrocknet und wiederholt so behandelt wird. Durch den Sauerstoff in dieser Baumwolle wird bei der Entzündung die Kohlensäure und das Stickstoffgas verbrannt und üben dann eine noch kräftigere Wirkung als das Schießpulver aus, ohne einen so starken Knall zu veranlassen. Es gibt auch noch manche andere Arten von explodirenden Substanzen, u. A. Knallgold, Knallsilber Knallqueckſilber u. s. w., deren Wirkung ebenfalls auf einer raschen Verbrennung eingeschlossener Gasarten beruhet, und unter denen das Knallqueckſilber besonders wichtig ist, weil es in den kupfernen Zündhütchen enthalten ist, deren man sich zum Losbrennen der Schießgewehre bedient, die mit einem Perkussionsschloß versehen sind.

So findet bei jeder Verbrennung eine chemische Verbindung zweier oder mehrerer Stoffe statt, wobei allemal der Sauerstoff mit im Spiele seyn muß, da ohne denselben kein Verbrennen möglich ist. Jede Verbrennung ist daher nichts anders als ein Oxydationsproceß. Zur Unterhaltung einer Verbrennung ist aber zugleich auch ein steter Zufluß von Wärme erforderlich, damit der brennende Körper auf der Temperatur sich erhält, die er zum Brennen bedarf, da er auslischt, wenn er diese Temperatur verliert. Woher ihm nun dieser Zufluß kommt, da die erforderliche Menge weder in dem Sauerstoff noch in dem brennenden Körper selbst vorhanden ist, bleibt dabei eben so unentschieden, als man den Grund angeben kann, warum manche Körper so leicht, andere so schwer sich entzünden lassen. So entzünden sich viele Stoffe noch leichter als Phosphor und Pyrophore, z. B. Kalium im Wasser bei jeder Temperatur, während der Diamant nur äußerst schwer, eine Wachskerze erst bei etwa 300 Grad in diesen Zustand geräth.

Die Verbindungen, die sich bei einer Verbrennung bilden, sind aber bei einer raschen und vollständigen Verbrennung anders, als bei einer langsamen und unvollständigen. Bei dieser, die im gemeinen Leben an Lichtern und Feuerungen am häufigsten vorkommt, bleibt viel Material unverbrannt, und fliegt als Rauch davon, der in den Schornsteinen und Kaminen, wo er erkaltet, Ruß ansetzt, was nicht stattfinden würde, wenn das Material vollständig verbrennte. Eben so ist der üble Geruch, wenn sich Haare oder andere Stoffe versengen, kochende Milch überläuft, Löschpapier glimmt und dergl. mehr, eine Folge einer unvollständigen Verbrennung, da bei einer vollständigen Verbrennung dieser Stoffe ein solcher Geruch nicht empfunden wird. Eine Verbrennung wird aber desto vollständiger, je mehr Sauerstoff zu dem brennenden Körper treten kann, und dazu bedient man sich der Blasebälge, so wie allerlei Einrichtungen für Lampen und Feuerungsapparate.

4) Außer der Elektrizität, die in einem besonderen Kapitel vorkommt, ist auch der animalische, wahrscheinlich auch der vegetabilische Lebensproceß als wärmeerregend zu erwähnen, besonders in dem Körper der Thiere, die warmes Blut haben und durch Lungen athmen. Diese animalische Wärme, die bei dem Menschen sich constant auf 29 — 30 Grad erhält, bei den Vögeln aber größer als bei den Säugethieren ist, entsteht, nach den Untersuchungen berühmter Chemiker, nicht nur durch das Athmen, sondern auch im Innern durch chemische Einwirkung verschiedener Gasarten, durch die Nahrungsmittel und deren Verdauung.

§ 164. (Mittheilung der Wärme.) **Wenn zwei Körper von verschiedenem**

Digitized by Google

Wärmegrad sich berühren, so theilt der wärmere Körper dem kältern so lange Wärme mit, bis sie beide zu gleicher Temperatur gelangt sind. Ist dieser Zustand eingetreten, so hört die Mittheilung auf, und dann befinden sich die Körper rücksichtlich des Wärmegrads in einem Gleichgewicht, welches das thermometrische heißt.

Daß Körper, die nicht im thermometrischen Gleichgewicht sind, durch die Mittheilung der Wärme in dieses Gleichgewicht sich zu versetzen suchen, ist eine Erfahrung, die jeder Mensch stets an seinem eigenen Körper wahrnehmen kann. Berührt man z. B. einen Körper mit der Hand, so theilt diese dem Körper Wärme mit, wenn er kälter als die Hand ist, im umgekehrten Fall theilt er der Hand Wärme mit. Je nachdem der eine oder der andere Fall stattfindet, nennt man auch einen Körper warm oder kalt. Eben darum sind die Ausdrücke heiß, warm, lau, laulich, kühl und kalt so sehr relativ, daß oft schon zwei Personen darüber nicht zusammenstimmen, und Mancher es oft da heiß oder kalt findet, wo ein Anderer sich ganz behaglich fühlt. Sogar einer und derselbe menschliche Körper bleibt sich in diesen Empfindungen nicht gleich, und findet, nach der jedesmaligen Temperatur seines Körpers, die Temperatur eines andern bald so, bald anders. Bei kalter Witterung kann man ein Zimmer von etwa 10 R. Grad Wärme, besonders wenn man eben aus der freien Luft in das Zimmer kommt, ziemlich angenehm finden; ist aber das thermometrische Gleichgewicht mit der Zimmerwärme hergestellt, so findet man es zu kalt. Noch im April sieht man oft betagte Leute und schwächliche Personen sich sonnen, wo die Jugend es schon längst zu heiß findet. Gut gewölbte Keller, wo es im Winter so kalt als im Freien, und im Sommer nicht so heiß wird, findet man in jener Jahreszeit warm, in dieser ziemlich kühl. Hat man sich eben in warmem Wasser gewaschen, so kann man einen Körper, den man dann berührt, kalt finden, den man vor dem Waschen nicht so gefunden hätte.

§ 165. (Wärmeleiter.) Die Mittheilung der Wärme, die nie gehemmt werden kann, geschieht jedoch für denselben Wärmegrad, bald geschwinder, bald langsamer, indem es Körper gibt, welche die Wärme leicht und schnell und andere, welche sie schlecht und langsam fortleiten. Viele Naturforscher haben über die Fähigkeit der Körper, die Wärme fortzuleiten, sowohl durch ihre eigene ganze Masse, als auch nach andern, mit denen sie in Berührung sind, interessante Versuche angestellt, ohne jedoch bis jetzt ein allgemeines Gesetz dafür gefunden zu haben. Einzelne Gesetze, die aber nicht ohne Ausnahmen sind, haben durch Erfahrungen und Nachdenken sich herausgestellt, und nützliche Anwendungen veranlaßt. So weiß man z. B., daß auf die Zeit des Erkaltens die Größe der Oberfläche eines Körpers nicht ohne Einfluß ist. Je kleiner diese Oberfläche bei gleicher Masse ist, je langsamer erkaltet der Körper. Eine eiserne Kugel von vier Pfund erkaltet z. B. langsamer, als bei gleichem Wärmegrad ein eben so schweres Stück desselben Eisens, das eine andere Form hat, weil bei gleicher Masse der Kugelform die geringste Oberfläche zukommt. Außerdem kommt auch in dieser Hinsicht viel auf den größern oder geringern Grad der Rauhigkeit der Oberfläche an. Je blanker diese ist, desto schlechter leitet sie die Wärme fort.

Die besten Wärmeleiter unter den festen Körpern sind die Metalle, allein auch bei diesen ist die Leitungsfähigkeit sich keineswegs gleich. Nach welcher Ordnung in dieser Hinsicht die Metalle auf einander folgen, hat

Digitized by Google

man durch Versuche zu bestimmen gesucht, allein es haben diese verschiedene Resultate geliefert. Nach einigen bildet die Leitungsfähigkeit von den bessern zu den schlechtern folgende Reihe: Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Messing. Diesem Versuch nach leitete Blei besser als Eisen, dagegen nach Ingenhouß, wo die Reihe so zu stellen wäre: Silber, Gold, Zinn, Kupfer, Eisen, Platin, Blei, Blei geringer als Eisen. Die besonders genauen Versuche, die Böckmann deßhalb angestellt hat, lieferten folgende Ordnung: Wismuth, Spießglanz, Queckfilber, Blei, Zinn, Gold, Silber, Nickel, Zink, Messing, Kupfer, Eisen; und letzteres ist demnach der schlechteste Wärmeleiter unter den Metallen, fast um dreimal schlechter als Blei befunden worden. Man kann die Leitungsfähigkeit eines Metalls dadurch prüfen, indem man auf einer erhitzten Metallmasse andere Metalle erhitzt, und nun die Zeit bemerkt, die sie, wenn sie unter gleichen Umständen wieder verkühlen, zu der Abkühlung gebrauchen. Schon Newton bediente sich dieses Mittels, um große Grade von Hitze dadurch zu bestimmen. Man kann aber auch diese Fähigkeit dadurch prüfen, daß man die Zeit bemerkt, die verschiedene Metalle gebrauchen, um sich durch einen gewissen Raum auf einen gewissen Wärmegrad unter gleichen Umständen zu erhitzen. Beide Prüfungsmethoden, die nach Böckmann sich keineswegs gleich sind, haben so verschiedene Resultate geliefert, auf die aber auch noch sonst viele Nebenumstände von großem Einfluß waren. Auch Biot und späterhin Deprez stellten über die Leitungsfähigkeit der Metalle und anderer Körper interessante, mit vieler Vorsicht ausgeführte Versuche an, und bedienten sich hierzu Stäbe, die alle von gleicher Gestalt, und so eingerichtet waren, daß in angebrachten gleich weit von einander abstehenden Vertiefungen Thermometer eingesetzt werden konnten. Das eine Ende der Stäbe wurde in einer Wärmequelle erhitzt, und der Versuch so lange fortgesetzt, bis jedes der angebrachten Thermometer einen bleibenden Stand angenommen hatte. Deprez entfernte die Thermometer, eins von dem andern, um 10 Centimeter, so daß ihre auf einanderfolgenden Abstände von der Wärmequelle in einer arithmetischen Reihe zunahmen, und fand den Ueberschuß der Wärme gegen die äußere Temperatur für den Kupferstab in dem ersten Abstand zu 66,36, in dem zweiten zu 46,28, in dem dritten zu 32,62, in dem vierten zu 24,32, in dem fünften zu 18,63 Grad, u. s. w., welche Zahlen paarweise, wie sie zunächst auf einander folgen, den Quotienten 1,4 ergeben. Aehnliches ergab sich bei den Versuchen mit andern Metallstäben, und Deprez leitete hieraus das Gesetz ab, daß die Leitungsfähigkeit der Metalle von der Wärmequelle an in einer geometrischen Reihe abnehme für Entfernungen, die in einer arithmetischen Reihe zunehmen. Auch stellte Deprez für die Leitungsfähigkeit der Metalle folgende Reihe auf: Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Zink, Zinn, Blei, eine Reihenfolge, gegen welche erhebliche Zweifel erhoben worden sind. Jedenfalls nimmt die Wärme, bis sie durch die ganze Masse eines Körpers sich verbreitet, nur sehr langsam zu. Legt man z. B. eine Metallstange mit dem einen Ende in geschmolzenes Blei, so ist einige Fuß weit von diesem Ende, obgleich man das Blei im geschmolzenen Zustand erhält, die Wärme fast schon unmerklich, und eine 7—8 Fuß lange eiserne Stange muß an dem einen Ende schon sehr stark erhitzt werden, um an dem andern Ende ihre Temperatur nur um 1 Grad zu erhöhen.

Obgleich nun die Leitungsfähigkeit der Metalle nicht von ihrer Dich-

Digitized by Google

tigkeit abhängt, so ist es doch eine ausgemachte Wahrheit, daß gerade die Metalle, welches doch die dichtesten Körper sind, die größte Leitungsfähigkeit besitzen. Alle andere feste Körper sind bei weitem schlechtere Wärmeleiter. Die Leitungsfähigkeit verschiedener Holzarten nimmt, nach Mayer, in folgender Ordnung ab: Tanne, Föhre, Birnbaum, Sommereiche, Pflaumenbaum, Weißbuche, Ebenholz; wobei zu bemerken, daß alle Holzarten die Wärme nach der Richtung der Fasern am besten leiten. Einer der schlechtesten Wärmeleiter ist Kork. Sehr lockere Körper sind meistens auch sehr schlechte Wärmeleiter. Außer den Holzarten gehören in diese Klasse: Asche, Kohlen, Papier, Wolle, Baumwolle, Seide, Leinwand, Pelzwerk, Moos, Haare, Stroh, Federn ꝛc. ꝛc.

§ 166. (Anwendungen.) Die Kenntniß von der Leitungsfähigkeit der festen Körper wird zu gar mancherlei Anwendungen benutzt, und schlechte Wärmeleiter immer da angewandt, wo man die Wärme so viel als möglich zusammenhalten oder abhalten will. Zum Warmhalten taugen daher am besten schlechte Wärmeleiter, weil diese die Wärme nicht so leicht fortleiten. Darum kleidet man sich im Winter lieber in Wolle, als in Baumwolle und Leinen, und belegt dann auch die Stubenböden gern mit wollenen Teppichen. Bäume und Brunnenröhren hüllt man um diese Jahreszeit in Stroh, und Kellerlöcher belegt man mit Mist, um die innere Wärme gefangen zu halten. Stroh ist überhaupt ein so schlechter Wärmeleiter, daß es unter einem Strohdach im Sommer kühler ist, weil die äußere Wärme nicht so leicht durchgeleitet wird, im Winter hingegen ist es unter einem solchen Dache wärmer, weil die innere Wärme mehr zusammengehalten wird. Eisgruben müssen darum in Holz aufgeführt und mit Stroh bedeckt seyn, wenn man in den Sommermonaten Eis darin erhalten will. Ein Stück Papier unter einem Glase schützt dieses vor dem Zerspringen, wenn man es auf den warmen Ofen stellt. Stuben mit steinernen Wänden brauchen längere Zeit zum erwärmen, als andere, deren Wände von Holz sind. Handhaben metallner Gefäße werden mit Holz oder Stroh umgeben, um sie im erhitzten Zustand daran fassen zu können. Streuet man ein wenig Asche in die Hand, so kann man eine glühende Kohle damit halten, ohne sich zu verbrennen. Menschen, deren innere Handfläche mit einer harten hornartigen Haut sich überzogen hat, können dergleichen heiße Körper auch mit bloßer Hand halten, weil Horn ebenfalls zu den schlechten Leitern gehört. Lockerer Schnee gehört ebenfalls zu den schlechten Wärmeleitern, daher er die Wintersaat vor dem Erfrieren schützt, und zur Wiedererwärmung erstarrter Menschen dient. Auch hat man schon öfters Vorschläge zur künstlichen Bereitung schlechter Wärmeleiter gemacht, theils um Menschen und Gebäude gegen Feuersgefahr zu beschützen, und überhaupt leicht verbrennliche Körper unverbrennlicher zu machen, theils auch um mit mehr Oekonomie zu heizen und zu kochen. So kann z. B. durch ein Gemenge von einem Theil Vitriolsäure, vier Theile Alaun und sechszehn Theile Wasser ein Mittel bereitet werden, wodurch man sich, seine Kleidungsstücke und andere leicht verbrennliche Körper gegen sehr große Hitze schützen kann, so wie man durch eine hinlängliche Beimischung von Alaun Wasser lange gegen das Gefrieren schützen kann. Holz, das man mit einem aus drei Theilen geschlämmten Lehm, einem Theile geschlämmten Thon und einem Theile Roggenmehlkleister bestehenden Gemenge anstreicht, entzündet sich ebenfalls nicht. Deßgleichen auch, wenn der Anstrich aus in Wasser aufgelöst'er

Digitized by Google

Potasche mit Lehm und Kleister besteht. Nimmt man in die eine Hand einen guten, in die andere einen schlechten Wärmeleiter, so wird man in jener länger ein Gefühl von Kälte haben, als in dieser. Durch dieses Merkmal lassen sich schon ächte Steine von falschen einigermaßen unterscheiden, da jene bessere Wärmeleiter sind, als diese.

§ 167. (Einfluß der Farbe.) Der Einfluß der Farbe, dessen bei der Erregung der Wärme durch die Sonnenstrahlen erwähnt worden ist, äußert sich auch wieder bei der Fortleitung der Wärme. Dunkelfarbige Körper leiten die Wärme besser als hellfarbige fort. Füllt man einen hohlen blechernen Würfel, dessen vier Seitenwände von innen und außen vier verschiedene Farben haben, z. B. weiß, schwarz, braun und gelb, mit heißem Wasser, so zeigen hineingehaltene Thermometer den größten Wärmegrad an der schwarzen, den kleinsten an der weißen Wand. Nur muß das Wasser im Würfel überall gleich hoch, mithin der Boden des Würfels genau horizontal stehen, damit die Thermometer an jeder Wand gleich tief im Wasser seyn können. Gewöhnliche Thermometer sind hierzu jedoch nicht empfindlich genug, daher man besser diesen merkwürdigen Versuch mit Luftthermometern anstellt. Legt man verschiedenfarbige Tuchlappen auf Schnee, den eben die Sonne bescheint, so schmilzt er rascher unter den dunkeln als unter den hellen Farben, am schnellsten unter dem schwarzen, am langsamsten unter einem weißen Lappen weg. Schon durch das Einsinken der aufgelegten Lappen kann man dieß wahrnehmen, da die dunkeln stets tiefer, als die hellen einsinken. Hellfarbige Stoffe sind daher im Winter bessere Zusammenhalter der innern Wärme, im Sommer hingegen bessere Abhalter der äußern Wärme als dieselben Stoffe in dunkeln Farben, was für Kleidungsstücke zu beachten wäre, aber von der Mode nicht immer berücksichtigt wird. Aus eben dem Grunde sind auch schwarze Oefen zu schnellerer Zimmererwärmung geschickter als hell glasirte, wenn beide sonst gleiche Einrichtung haben.

Nebst der Farbe hat auch die größere oder geringere Rauhigkeit der Oberfläche der Körper vielen Einfluß auf die Leitungsfähigkeit derselben; je rauher die Oberfläche ist, desto leichter leitet sie die Wärme fort. Darum bleiben auch Flüssigkeiten in polirten Gefäßen länger heiß, als in solchen, deren Oberflächen rauh sind, und unglasirte Oefen heizen schneller, als glasirte.

§ 168. (Strömungen.) Durch die ganze Masse eines festen Körpers theilt sich die Wärme so mit, daß sie von Theil zu Theil sich fortpflanzt, wenn sie in einem der Theile auf irgend eine Weise erregt worden ist. Bei einem flüssigen Körper findet nun zwar auch dieselbe Art von Mittheilung statt, allein, wegen der geringen Cohäsion dieser Körper, so sehr langsam, daß der Graf von Rumford, dessen sehr schätzbaren Versuchen über die Wärme wir manchen neuen Aufschluß zu verdanken haben, sie ganz in Abrede zu stellen sucht. Viel schneller und wirksamer leitet sich die Wärme durch die ganze Masse eines flüssigen Körpers, wenn sie in einzelnen Theilen desselben erregt wird, durch Bewegung der erwärmten Theile fort. Diese Bewegung besteht hier demnach in Strömungen. Wird z. B. Wasser in einem Gefäß von unten her erhitzt, so steigen die erwärmten Theile, indem sie sich ausdehnen und dadurch specifisch leichter werden, in die Höhe, und theilen so den kältern, die abwärts steigen, Wärme mit, indem sie sich berühren, bis dann diese zuletzt die Stelle des Gefäßes erreichen, wo die Wärme zunächst erregt wird, und ihrerseits sich nun

Digitized by Google

ausdehnen und in die Höhe steigen. Durch diese Strömungen erfolgt die Erwärmung der ganzen Masse ziemlich schnell. Zum Unterschied der Mittheilung durch die Masse eines festen Körpers nennt man diese Mittheilung durch Strömung auch das fortführende Vermögen der Wärme. Wenn man eine Glasröhre mit Wasser füllt, und sie, schief über eine Weingeistflamme haltend, von unten her vorsichtig erwärmt, so kann man diese Strömungen sehen, besonders wenn man grob gepulvertes Siegellack oder grob gepulverten Bernstein in das Wasser thut, wodurch die Strömungen noch sichtbarer werden. Wirft man dergleichen Pulver in ein mit Wasser gefülltes Trinkglas, und wird dieses von unten her mit Vorsicht erhitzt, so kann man in den Wirbeln, in welche die gepulverten Körperchen dann gerathen, ebenfalls diese Strömungen wahrnehmen. Wird aber der flüssige Körper von oben her erhitzt, z. B. dadurch, daß man ein glühendes Eisen nahe an den Wasserspiegel hält, so findet keine Strömung statt, und die Erwärmung der Wassermasse von oben nach unten geht dann sehr langsam vor sich. Befestigt man auf den Boden eines etwas hohen Gefäßes ein Stück Eis, auf welches man erst einen ziemlichen Theil kaltes, dann siedendes Wasser gießt, doch letzteres so langsam und vorsichtig, daß das kalte Wasser nicht in Strömungen geräth, so kann es sehr lange dauern, bis das unterste Wasser so warm wird, daß das Eis schmilzt, statt es in einigen Minuten geschieht, wenn das Eis auf dem Wasser schwimmt, und dieses von unten aufwärts erwärmt wird. So kann auch an einem heißen Sommertage die Oberfläche eines stehenden, noch mehr eines fließenden Wassers, angenehm warm seyn, während es in einiger Tiefe beträchtlich kälter ist.

Auch die Luft, wenn sie trocken ist, gehört im ruhigen Zustande zu den schlechten Wärmeleitern. Darum auch Luftschichten, die zwischen einer Wand und der Tapete eingesperrt sind, die Wärme eines Zimmers zusammenhalten. Hierin liegt dann auch der Nutzen der Vorfenster und Vorthüren. Weite Kleider und Mäntel halten deßhalb auch wärmer als enge Kleider, weil zwischen ihnen und dem Körper eine Luftschichte lagert, durch welche die Wärme des Körpers besser zusammengehalten wird. Ist aber die Luft feucht, so leiten die Dünste, die sich dann niederschlagen, die Wärme weit stärker fort, weßhalb auch eine naßkalte Witterung empfindlicher als eine trockene Kälte ist. Eine Luftmasse, die nicht ruhig ist, gehört, auch trocken, zu den guten Wärmeleitern. Darum kann man sich in einem Luftzug so leicht verkälten. Ist nämlich eine Luftmasse in Bewegung, so finden, wenn einzelne Theile dieser Masse erwärmt werden, ähnliche Strömungen, wie bei einer von unten aus erwärmten Wassermasse statt. Die erwärmten Lufttheile dehnen sich aus und steigen in die Höhe, dagegen die kältern Lufttheile an den Ort hingelangen, von wo aus die Erwärmung erfolgt. Dort angelangt, werden auch sie erwärmt, wo sie dann wieder aufwärts steigen. Durch diese Strömungen wird dann ein mit Luft erfüllter Raum bald durchwärmt, und ohne sie könnte man lange warten, bis die Wärme, die von einem Ofen ausgeht, ein Zimmer heizte. Zimmer, die sehr hoch sind, lassen sich daher nicht so geschwind erwärmen, als niedrigere, weil natürlich hier eine längere Zeit darauf geht, bis die obern Luftschichten nach unten zu liegen kommen. Indessen wird auch in einem noch so hohen Zimmer die obere Luft doch endlich erwärmt werden, da die Dichtigkeit der obern Luft von der der untern hier auf keinen Fall so sehr verschieden ist, daß nicht die untere Luft, wenn sie einmal erwärmt

Digitized by Google

ist, dünner und leichter würde, als die obere es ist. Im Freien ist dieses aber ganz anders. Hier kann man endlich zu einer Höhe gelangen, wo die Dichtigkeit der Luft, die von unten bis zu einer etwas bedeutenden Höhe so beträchtlich abnimmt (§ 125), an und für sich schon nicht größer ist, als die der aufsteigenden, durch den Erdboden erwärmten Luft. In einer solchen Höhe hören demnach die Strömungen auf, und die Luft bleibt kalt. Dieses wäre dann, wie bereits angegeben (§ 163. 2), ein anderweitiger Grund, aus dem sich erklären ließe, warum es auf den Gipfeln hoher Berge auch im Sommer kalt bleibt.

Bekanntlich ist es über einer Flamme heißer als neben derselben. Dieses ist eine natürliche Folge von der Strömung der wärmern Luft, die weit mehr aufwärts als zur Seite hingeht. Je heftiger diese Strömungen sind, mit desto größerer Gewalt stürzt sich die kältere Luft an den Ort hin, wo die Quelle der Wärme ist, wie dieses bei einer Feuersbrunst sich zeigt. Die große Gewalt, mit welcher dieß geschieht, preßt die Flamme zusammen, und gibt ihr jene spitz zulaufende Gestalt, die man dabei wahrnimmt.

§ 169. (Strahlende Wärme.) Außer der Mittheilung der Wärme durch Fortleitung und durch Strömung hat der Schwede Scheele, einer der trefflichsten Naturforscher, noch eine dritte Art, wie die Wärme sich verbreitet, entdeckt. Man nennt sie strahlende Wärme. Die erste Wahrnehmung dieser Fortleitung machte Scheele bei einer geöffneten Ofenthür. Wenn man nämlich vor einer solchen Thür so steht, daß man das Feuer im Ofen sehen kann, so empfindet man im Gesicht eine starke Hitze, und diese verschwindet, wenn man so steht, daß man das Feuer nicht sieht, oder die Ofenthür zu macht, oder auch eine Glasplatte vor das Gesicht hält. Dasselbe ist auch der Fall, wenn das Gesicht einer Wand zugekehrt ist, auf welcher die Sonne liegt. Scheele hat nachher auch noch viele andere Versuche über diese Erscheinung angestellt, und viele Physiker, besonders Pictet in Genf, haben diese Versuche wiederholt und vervielfältigt. Die strahlende Wärme, so weit man sie jetzt durch die angestellten Beobachtungen und Versuche kennt, weicht von der Mittheilung der Wärme durch Leitung und Strömung wesentlich darin sehr ab, daß sie mit so großer Geschwindigkeit erfolgt, daß selbst Augenblicke noch zu große Maße dafür sind; daß sie nur immer in gerader Richtung sich verbreitet, und daß sie die Luft, durch welche sie geht, gar nicht merklich erwärmt. Letzteres erkennt man daran, daß die Wirkung der Wärme augenblicklich zu Ende ist, so wie die Strahlung durch einen Schirm gehemmt wird, was nicht der Fall seyn könnte, wenn sie die Luft erwärmte. Die Stärke (Intensität) der Wärmestrahlen nimmt aber mit der Entfernung von der Wärmequelle ab, und zwar, nach den Versuchen von Ritchie und Melloni, nach dem Verhältniß des Quadrats der Entfernung, so daß sie in der doppelten Entfernung 4mal, in der dreifachen 9mal schwächer ist, wie dieses auch bei den Lichtstrahlen der Fall ist. Von den Metallen wird die strahlende Wärme zurückgeworfen, von Glas aber wird sie verschluckt, und eben darum wird dieses schneller als andere Körper davon erhitzt. Die Zurückwerfung erfolgt unter demselben Winkel, unter welchem die Wärmestrahlen aufgefallen sind, wie dieses bei dem Stoße auf unbewegliche Flächen, bei den Schallstrahlen, wie auch bei den Lichtstrahlen, der Fall ist. Ueberhaupt können die Wärmestrahlen, die mehr oder weniger von einem Körper ausgehn, was man sein Emissionsver-

Digitized by Google

mögen nennt, und dann auf einen andern Körper treffen, von diesem entweder verschluckt (absorbirt) werden, wodurch auch dessen Temperatur erhöhet wird, oder sie gehn durch ihn hindurch und strahlen wieder aus, was man Transmissionsvermögen nennt, oder sie werden zurückgeworfen (reflectirt). Werden die zurückgeworfenen Strahlen in einem Punkt gesammelt, und dadurch verdichtet, so wird die erwärmende Kraft derselben in diesem Punkt nothwendig sehr erhöht. Diese Eigenschaften der Zurückwerfung der Wärmestrahlen benutzt man auch bei Anlegung der Schmelzöfen auf Hüttenwerken. Man hat über diese Zurückwerfung allerlei Versuche mit Hohlspiegeln gemacht, indem man in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels einen wärmestrahlenden Körper und in den Brennpunkt des andern ein empfindliches Thermometer setzte, welches dann sehr schnell stieg, und wieder fiel, wenn man einen Schirm dazwischen stellte. Nur muß man darauf sehen, daß die Mittelpunkte beider Hohlspiegel in einerlei Höhe zu liegen kommen. Man hat auch zu diesem Versuche Hohlspiegel, die so eingerichtet sind, daß man in den Brennpunkt des einen eine glühende Kohle, in den des andern einen leicht entzündlichen Körper, z. B. ein Stück Zunder, stecken kann. Stehen dann beide Brennpunkte gehörig einander gegenüber, so wird durch die aus der Kohle ausstrahlende Wärme der Körper im Brennpunkt des andern Spiegels sogleich entzündet.

Die schätzbarsten Versuche über strahlende Wärme hat Melloni angestellt. Aus diesen sehr sinnreich angeordneten Versuchen ergab sich, daß von einer gleich großen Menge auffallender Wärme gewisse Körper mehr, andere weniger Wärme ausstrahlen, daß dieses aber, namentlich bei krystallisirten Körpern, nicht von der Durchsichtigkeit derselben abhängt. Diathermane Körper heißen solche, welche die Wärme vollständig ausstrahlen, und der vollkommenste derselben ist Steinsalz. Körper, die nur wenig oder keine Wärme ausstrahlen, heißen athermane, und zu ihnen gehören fast alle Körper, die vollkommen undurchsichtig sind, mit Ausnahme des schwarzen Glases und schwarzen Glimmers. Es gibt aber auch Körper, die für einige Wärmequellen diatherman, für andere atherman sind. Während z. B. Steinsalz von siedendem Wasser in geschwärzten kupfernen Gefäßen, von einer Oelflamme, von glühendem Platin, von stark erhitztem geschwärzten Kupfer gleich viel Wärme ausstrahlt, lassen Kalkspath, Spießglas, Bergkrystall von siedendem Wasser keine Wärmestrahlen durch, wohl aber von erhitztem Kupfer, von der Oelflamme und von glühendem Platin; Gyps und Alaun sind blos diatherman gegen die Oelflamme und glühendes Platin, und da nur sehr schwach. Die Erscheinung, daß im Winter gefrorne Fenster aufthauen, ehe noch die Luft durch die fortgeleitete Wärme des geheizten Ofens dafür hinreicht, ist eine Wirkung der strahlenden Wärme. Eigentlich strahlt jeder Körper Wärme aus, die athermane nur sehr wenig, jedoch ist das Emissionsvermögen allemal um so größer, je höher die Temperatur des ausstrahlenden Körpers, und je rauher seine Oberfläche ist. Metallische Oberflächen strahlen daher nicht so gut, als andere, verbessern sich aber durch Rauhigkeit, wie z. B. durch die Zierrathen an den Oefen. Versuche haben dargethan, daß je größer das Emissionsvermögen eines Körpers ist, desto größer ist dann auch dessen Absorptionsvermögen, je vollkommener aber die Oberfläche eines Körpers polirt ist, desto stärker reflectirt er; sehr rauhe Oberflächen bewirken aber eine Zerstreuung (Diffusion) der Wärmestrahlen.



Digitized by Google

Die besten Reflectoren sind daher polirte Metalle. Das Transmissionsvermögen hängt aber nicht nur allein von dem Stoff ab, aus dem ein Körper besteht, sondern auch von dessen Politur, Dicke und einigermaßen auch von der Farbe, besonders für farbige Gläser. Forbes wies auch nach, daß die Wärmestrahlen, gleich wie die Lichtstrahlen, sich polarisiren (spalten), namentlich bei'm Durchgang durch sehr dünne Glimmerblättchen, daß aber dieses merkwürdige Verhältniß der Wärmestrahlen für jede Wärmequelle ungleich sey.

Wie gut die Erklärung mancher Erscheinungen der Wärme dem Emanationssystem Stich halten mag (§ 153), so muß doch zugegeben werden, daß die Thatsachen der strahlenden Wärme weit einfacher sich mit dem Undulationssystem vereinigen lassen, indem man die Wärmestrahlen als Undulationen von verschiedenen Wellenlängen betrachtet, ähnlich den kürzern und längern Schwingungen für tiefere und höhere Töne.

§ 170. (Specifische Wärme.) Obgleich zwei Körper, z. B. zwei Flüssigkeiten, gleiche Temperatur haben und im thermometrischen Gleichgewicht sind, wenn das Thermometer in beiden auf einerlei Grad zeigt; so kann doch daraus nicht geschlossen werden, daß beide auch eine gleich große Menge Wärme in sich enthalten müßten. Diese merkwürdige und wichtige Endeckung, die von dem schwedischen Naturforscher Wilke gemacht worden ist, läßt sich durch Versuche unwidersprechlich darthun, und liefert den Beweis, daß die Körper eine sehr verschiedene Empfänglichkeit für die Wärme haben, und sie in ganz verschiedener Menge in sich aufzunehmen, festzuhalten und dadurch unwirksam auf äußere Umgebungen zu machen vermögen.

Will man diese Versuche in folgerechtester Ordnung anstellen, so nehme man zwei gleich große Gewichtsmengen desselben Wassers, Oels, Weines ꝛc. ꝛc., erwärme beide gleich lang über einerlei Feuer und in vollkommnen gleichartigen Behältnissen und prüfe ihren Wärmezustand durch zwei genau übereinstimmende Thermometer, die man zu gleicher Zeit in sie eintaucht, und gleich lang darin läßt. Die Thermometer werden, wie sich dieses von selbst versteht, in beiden von einander abgesonderten Massen, unter den angeführten Bedingungen, gleiche Wärmegrade angeben. Werden diese Massen miteinander vermischt, und dafür gesorgt, daß während der Mischung keine Wärme entweichen und auch keine neue hinzukommen kann, so muß auch in der Mischung das Thermometer noch immer denselben Wärmegrad angeben, den es für jede abgesonderte Masse gezeigt hat. Sind aber die beiden gleichartigen und gleich großen Massen von verschiedenem Wärmegrad, so wird die wärmere Masse der kältern so viel Wärme mittheilen, daß der Wärmegrad der Mischung gerade halb so groß seyn wird, als die Wärmegrade beider Massen zusammengenommen.

Beispiele. 1) Man mische 3 ℔ Wasser von 20 Grad mit 3 ℔ desselben Wassers ebenfalls von 20 Grad, so wird auch die Mischung, mit der gehörigen Sorgfalt angestellt, 20 Grad haben.

2) Man mische 3 ℔ Wasser von 20 Grad mit 3 ℔ desselben Wassers von 40 Grad, so wird die Mischung 30 Grad haben, welches die Hälfte von 20 und 40 ist.

Was die eine Menge bei der Mischung verliert, gewinnt die andere, und es ist durchaus hier kein Grund vorhanden, aus welchem eine ungleichförmige Wärmevertheilung erfolgen könnte.

Digitized by Google

Sind die Massen gleichartig, aber an Gewicht und Temperatur verschieden, so wird zwar nach der Mischung die Wärme sich ebenfalls gleichförmig vertheilen, allein die Vertheilung wird im Verhältniß der Massen, zugleich aber auch im Verhältniß der Temperatur erfolgen. Daher man, um den Wärmegrad der Mischung durch Rechnung zu bestimmen, jede Masse mit ihrer Temperatur multipliciren muß. Die Produkte werden addirt, und die Summe durch die Summe der Gewichte der gemischten Mengen dividirt. Der Quotient gibt dann die Temperatur der Mischung an.

Beispiele. 3) Man mische 3 ℔ Wasser von 20 Grad mit 5 ℔ desselben Wassers von 30 Grad. Hier ist 3mal 20 = 60; ferner 5mal 30 = 150. Beide Produkte addirt gibt 210, und diese Zahl durch 8 dividirt, gibt $26^1/_4$ Grad in der Mischung.

4) Man mische 3 ℔ Wasser von 20 Grad, 5 ℔ von 30 Grad, 1 ℔ von 80 Grad und 1 ℔ von Null Grad. Hier ist: 3mal 20 = 60; 5mal 30 = 150; 1mal 80 = 80; 1mal 0 = 0. Die vier Produkte addirt, geben 290, und diese durch 10 dividirt, gibt 29 Grad in der Mischung.

Daß diese Berechnung richtig und der Erfahrung gemäß sey, in so fern nur die Mischung mit der nöthigen Vorsicht angestellt wird, läßt sich leicht daraus wahrnehmen, daß man sich, etwa in Beziehung auf das vierte Beispiel, vorstellen kann, daß 10 gleiche Massen, jede von 1 ℔, gemischt würden, von denen drei jede 20, fünf jede 30, eine 80 und eine Null Grad habe, wo dann, da nunmehr die Massen gleich sind, dieser Fall dem Fall des zweiten Beispiels gleich ist. Eben darum findet er auch seine Anwendung, wenn die Massen gleich, deren Temperaturen aber verschieden sind.

Beispiel. 5) Man mische 3 ℔ von 20 Grad, 3 ℔ von 30 Grad, 3 ℔ von 80 Grad und 3 ℔ von Null Grad, wo dann die Mischung $32^1/_2$ Grad bekommt, man mag wie im vierten Beispiel rechnen, oder auch statt 3 ℔ nur allemal 1 ℔ in Rechnung bringen.

Nimmt man aber zu dem Versuch zwei verschiedene Materien, z. B. Wasser und Oel, in gleich großer Gewichtsmenge, erwärmt auch beide gleich lang über einerlei Feuer und in gleichartigen Behältnissen, und prüft dann ihre Temperatur durch zwei genau übereinstimmende Thermometer, die man zu gleicher Zeit in sie eintaucht, und auch gleich lang darin läßt, so zeigen beide Thermometer doch nicht auf einerlei Grad. Werden beide Massen mit der nöthigen Vorsicht zusammen gegossen, so stimmt jetzt auch die Berechnungsart der vorigen Beispiele nicht mehr mit der Erfahrung überein, sondern fällt entweder größer oder kleiner aus.

Gießt man z. B. ein ℔ Wasser von 34 Grad zu einem ℔ Queckfilber von Null Grad, so sollten, wenn die vorige Berechnung auch jetzt wieder gälte, beide Massen zusammen 17 Grad haben, ihre Wärme ist aber 33 Grad. Ist der Fall umgekehrt, hat das Wasser Null Grad und das Queckfilber 34 Grad, so zeigt sich im Zusammenguß nur 1 Grad Wärme. Wenn also das Wasser von seiner Wärme nur einen Grad an das Queckfilber abgibt, wird bei diesem die Wärme schon um 33 Grad erhöht, so wie umgekehrt das Queckfilber 33 Grad Wärme an das Wasser abgeben muß, wenn dieses um einen Grad zunehmen soll.

Hieraus folgt, daß gleiche Gewichtsmengen von Wasser und Queckfilber ihre Temperaturen um 1 Grad durch ganz verschiedene Wärme-



Digitized by Google

mengen verändern, und daß das Wasser 33mal mehr als das Quecksilber dazu verlangt. Diese verhältnißmäßige Menge von Wärme, die zur Veränderung der Temperatur eines Körpers um einen Grad erforderlich ist, nannte Wilke, und nach ihm auch andere Physiker, die specifische oder eigenthümliche Wärme, andere nannten sie die comparative Wärme, und noch andere legen ihr den Namen Capacität für die Wärme bei, und verstehen darunter die verschiedene Fähigkeit und Empfänglichkeit, welche gleich große Gewichtsmengen verschiedenartiger Körper für Aufnahme und Bindung der Wärme haben.

Um die Verhältnißzahlen zur specifischen Wärme bestimmen zu können, bedient man sich, wie bei der Bestimmung der specifischen Gewichte, des reinen Wassers, indem man angibt, wie viel Wärme verhältnißmäßig ein Körper verlangt, um mit einer dem Gewichte nach gleich großen Wassermasse seine Temperatur um einen Grad zu verändern. Obgleich nun die Menge der Wärme, die zu dieser Temperaturveränderung der Wassermasse selbst erforderlich ist, an und für sich bei dieser Bestimmung nicht bekannt ist, sich also auch für keinen anderen Körper angeben läßt, so kann man doch, jene Menge als Einheit annehmend, durch Mischungsversuche ihr gegenseitiges Verhältniß bestimmen, und zu einer Uebersicht ihrer specifischen Wärme gelangen. Weiß man nämlich aus Versuchen, daß dieselbe Wärme, die eine Masse reines Wasser um einen Grad in der Temperatur zu verändern vermag, eine eben so schwere Eisenmasse um 8 Grad verändert, so läßt sich daraus schließen, daß Eisen achtmal weniger Wärme zu einer Temperaturveränderung von einem Grad erfordert, als Wasser. Daher man sagt: die specifische Wärme des Eisens ist $^1/_8$ oder 0,125, wenn man, wie dieses üblich ist, sich der Decimalbrüche bedient. Eben so wäre, nach dem früher angeführten Beispiele, die specifische Wärme des Quecksilbers $^1/_{33}$ oder über 0,03. Wenig Körper kommen übrigens dem Wasser an specifischer Wärme gleich, wenig Körper binden demnach so viele Wärme als das Wasser. Dieses ist eine neue Wohlthat, die wir hier an diesem unentbehrlichen Produkt schätzen lernen, und worin wir die höchste Weisheit, die Alles auf das vollkommenste einzurichten vermochte, abermals zu bewundern Gelegenheit haben. Stoffe, die das Wasser einsaugen, bekommen dadurch eine Menge von Wärme zugeführt, der sich nachher in ihnen entbindet, und ihr Gedeihen befördert. Darum ist das Wasser eines der gesundesten Getränke, und bei vielen Personen schweißtreibend, wenn sie vor dem Schlafengehen es genießen.

Hält man den Begriff und die Bedeutung fest, die man unter der Benennung specifischer Wärme oder Capacität versteht, so geht daraus von selbst der Schluß hervor, daß allemal demjenigen Körper die größere specifische Wärme oder Capacität zukommt, der unter gleichen Umständen die niedrigste Temperatur hat, weil eben hierin der Grund liegt, warum dieser mehr Wärme erfordert, um seine Temperatur um einen Grad zu verändern, so zu verändern, daß Wärme frei wird, und auf das Thermometer wirken kann. Je größer nun die specifische Wärme eines Körpers ist, desto mehr Wärme wird von ihm gebunden und für das Thermometer unwirksam gemacht.

Da keine Wirkung ohne Ursache möglich ist, so muß die verschiedene Capacität der Körper für die Wärme allerdings auch die ihrige haben, ihre Nachweisung und völlig begründete Angabe liegt aber, wie dieses mit den letzten Ursachen aller Phänomene der Fall ist, außer dem Bereich

Digitized by Google

menschlicher Wahrnehmungen und Erkenntnisse. Nach dem Emanationssystem (§ 153) läge die Ursache in dem verschiedenen Grad von Verwandtschaft einer jeden Materie zum Wärmestoff; je größer diese Verwandtschaft ist, desto mehr Wärme wird festgehalten. Nach dem Undulationssystem müßte die Ursache darin liegen, daß die Theilchen eines Körpers mehr Fähigkeit haben durch die Wärme in schwingende Bewegung zu gerathen, als dieses bei den Theilchen eines andern Körpers der Fall ist, und so ließe sich hier die Thatsache mit jeder der beiden Erklärungsarten vereinigen. Im Allgemeinen ist durch Erfahrung so viel ausgemittelt, daß feste Körper eine geringere Capacität als flüssige haben, und daß unter den festen Körpern, jedoch nicht ohne Ausnahmen, die dichtern den minder dichten an Capacität nachstehen.

§ 171. (Verschiedene Bestimmungsmethoden.) Zur Bestimmung der specifischen Wärme sehr vieler Körper sind drei verschiedene Methoden angewandt worden.

I. Die Eisschmelzungsmethode. Hierzu bedient man sich des Calorimeters oder der Eisgeräthschaft von Laplace und Lavoisier. Der Gebrauch dieses Apparats beruht auf dem Satze, daß zur Schmelzung eines bestimmten Gewichts von Eis eine gewisse Menge von Wärme erforderlich ist. Wie viel freie Wärme ein Körper in Beziehung auf einen andern, mit dem er gleiches Gewicht hat, zu entwickeln vermag, kann also hier dadurch bestimmt werden, daß man mit Genauigkeit untersucht, wie viel Eis durch den einen und den andern geschmolzen worden ist. Hierzu hat nun das Calorimeter folgende sinnreiche Einrichtung: Ein Kasten von Blech (Fig. 137) hat drei abgesonderte hohle Räume. Der innerste Raum a ist aus Draht geflochten und dient zur Aufnahme des Körpers, dessen specifische Wärme man untersuchen will. Der Raum b, der a zunächst umgibt, wird mit dem zerstoßenen Eise gefüllt, das durch die freie Wärme des Körpers geschmolzen werden soll. Dieser Behälter hat eine Ausflußröhre, die unten bei d eine mit einem Hahne versehene Mündung hat, um das Wasser, welches aus dem schmelzenden Eis entsteht, ablassen und sammeln zu können. Um den Einfluß der äußern Wärme abzuhalten, ist der dritte äußere Raum c da, welcher ebenfalls mit zerstoßenem Eis gefüllt wird. Damit man auch aus diesem Raum das entstehende Wasser ablassen könne, ohne daß es sich mit dem aus dem Raume b vermische, ist er mit einer eigenen Ausflußröhre versehen, an deren Mündung e ebenfalls ein Hahn angebracht ist.

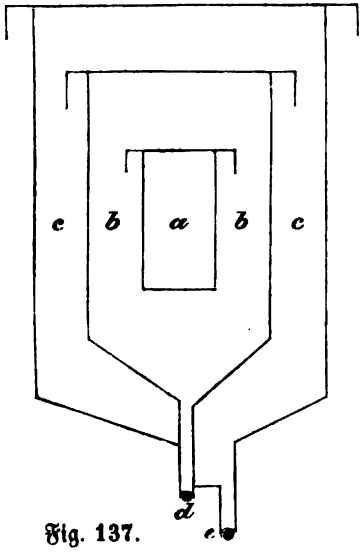


Fig. 137.

Der Körper, dessen specifische Wärme untersucht werden soll, bleibt so lange in a, bis er selbst die Temperatur von Null Grad erlangt hat.

Digitized by Google

Das Gewicht des Wassers, das durch ihn aus dem Eis in b, bis seine Temperatur Null wurde, geschmolzen worden ist, gibt dann die freie Wärme an, die er auf dieses Schmelzen zu verwenden hatte. Ist der Körper, dessen specifische Wärme untersucht werden soll, tropfbar flüssig, so kann man ihn natürlich in den Drahtraum a nicht unmittelbar einlegen. In diesem Falle muß man ihn dann in ein Gefäß füllen, dessen specifische Wärme vorher erst besonders untersucht worden ist. Alsdann muß man aber auch von dem Gewicht des entstandenen Wassers so viel abziehen, als von dem Gefäße allein entstanden wäre.

Gesetzt nun, man brächte in den Drahtraum a ein ℔ Eisenfeile, deren Wärme 60 Reaumür'sche Grad betrage, und es zeigte sich, daß sie bis zu der Temperatur von Null Grad 4 Loth Eis geschmolzen habe, während ein ℔ Wasser von eben diesem Wärmegrad bis zu der Temperatur von Null Grad ein ℔ Eis schmelzen kann; so kann man daraus abnehmen, daß 60 Grad Wärme in einem ℔ Eisen nur den achten Theil der Wärme ausmache, die in einem ℔ Wasser von 60 Grad enthalten ist, daß mithin die specifische Wärme des Eisens nur $^1/_8$ (gegen Wasser) betrage, oder, was dasselbe ist, daß Eisen achtmal weniger Wärme enthält, als ein gleiches Gewicht Wasser.

II. Die Abkühlungsmethode. Diese von Dulong und Petit angegebene Methode, wozu sie einen etwas zusammengesetzten Apparat erfunden, besteht wesentlich darin, daß Körper von geringem Umfange, etwa im gepulverten Zustand, auf gleiche Temperatur gebracht wurden, und sie dann in einer und derselben Hülle, wozu ein dünnes Silberblech genommen wurde, bis auf einen gleichen Grad wieder abkühlen ließen. In mehr Zeit, die genau beobachtet werden muß, ein Körper bedarf, um von der einen Temperatur auf die andere herabzusinken, desto größer ist verhältnißmäßig seine specifische Wärme. Auch bei dieser Methode müssen tropfbar flüssige Körper in Gefäßen behandelt werden, deren Gewicht und specifische Wärme vorher genau bestimmt sind.

III. Die Mischungsmethode. Schon Wilke und nach ihm auch Andere, bedienten sich, wie bereits bemerkt, dieser Methode, allein die angestellten Versuche litten an mancherlei Ungenauigkeiten und gaben daher unzuverlässige Resultate, bis endlich in neuerer Zeit diese Methode durch Regnault mit besserm Erfolg wieder angewandt wurde.

Zur Bestimmung der specifischen Wärme der Gasarten, wo keine dieser Methoden brauchbar ist, haben de la Roche und Berard folgende angewandt: In einem von heißem Wasser umgebenen Gefäße erhitzten sie das zu untersuchende Gas auf eine bestimmte Temperatur, und leiteten es durch ein Schlangenrohr, das in einem Gefäß mit kälterem Wasser lag, so lange bis dieses Wasser eine bleibende Temperatur angenommen hatte; was dabei das circulirende Gas an Wärme verlor, gewann das Wasser. Je mehr Gas von einer bestimmten Temperatur dem Gewichte nach erforderlich war, um dem Wasser eine bleibende Temperatur zu geben, desto geringer mußte dann auch die specifische Wärme dieses Gases seyn. Aus diesen Versuchen hat sich auch ergeben, daß je dichter eine Gasart ist, desto geringer ist ihre specifische Wärme. Die folgende alphabetisch geordnete Tabelle enthält die Mittelwerthe der specifischen Wärme einiger Körper bei gleichem Gewichte gegen Wasser.

| | |
|---|---|
| Gemeines Wasser . . . . . | 1,0000. |
| Alkohol . . . . . | 0,7000. |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Antimon | 0,1854. |
| Arsenik | 0,0814. |
| Asche | 0,1923. |
| Atmosphärische Luft | 0,2669. |
| Baumöl | 0,3096. |
| Blei | 0,0500. |
| Eis | 0,9000. |
| Eisen | 0,1138. |
| Glas | 0,1977. |
| Gold und Platin | 0,0324. |
| Kalk (ungelöschter) | 0,2169. |
| Kiessand | 0,1900. |
| Kochsalz | 0,2260. |
| Kohle | 0,2411. |
| Kohlensaures Gas | 0,2210. |
| Kreide | 0,2560. |
| Kupfer | 0,1140. |
| Leinöl | 0,5280. |
| Messing | 0,0939. |
| Milch | 0,9999. |
| Phosphor | 0,1887. |
| Potasche | 0,7590. |
| Queckſilber | 0,0330. |
| Salpeterſäure (nicht rauchende) | 0,6614. |
| Sauerſtoffgas | 0,2361. |
| Schwefel | 0,2026. |
| Schwefeläther | 0,5500. |
| Schwefelſäure (nach Verhältniß) | 0,3346. |
| Silber | 0,0570. |
| Stickſtoffgas | 0,2754. |
| Terpentinöl | 0,4259. |
| Waſſerdampf | 0,8470. |
| Waſſerſtoffgas | 3,2936. |
| Wismuth | 0,0308. |
| Zink | 0,0956. |
| Zinn | 0,0562. |

Wenn demnach ein gewiſſes Gewicht Waſſer eine gewiſſe Menge Wärme bedarf, um ſeine Temperatur um einen Grad zu verändern, ſo bedarf z. B. ein eben ſo groß Gewicht Eis nur 0,9 dieſer Wärme, um ebenfalls eine Temperaturveränderung von einem Grad zu erleiden. Dieſe Bedeutung hat die Tabelle. Doch gibt es auch noch andere, deren Angaben nicht durchaus übereinſtimmend ſind. Durch die Eisſchmelzungsmethode mit dem Calorimeter kann man zwar ſicherer, als durch die ältere Miſchungsmethode, die ſpecifiſche Wärme eines jeden feſten und tropfbar flüſſigen Körpers, wie auch die der chemiſchen Miſchungen prüfen, dennoch ſind auch die Verſuche mit dieſem Apparat mit Mängeln behaftet, die ihre Zuverläſſigkeit ſehr beeinträchtigen, und Regnault bediente ſich daher wieder einer von ihm verbeſſerten Miſchungsmethode. Zu den Umſtänden, welche die Eisſchmelzungsmethode ungenau machen, gehört, daß die Annahme, daß ein Pfund Waſſer von 60 Reaumür'ſchen Graden ein Pfund Eis ſchmelze, an ſich nicht genau iſt, daß ferner die Thermometergrade inner-

Digitized by Google

halb des Fundamentalabstandes der Wärme selbst nur beinahe proportional sind, und daß bei'm Schmelzen des Eises nicht alles Wasser, welches dabei entsteht, auch wirklich abfließt, sondern zum Theil noch am Eise hängen bleibt, wodurch das Gewicht des abgeflossenen Wassers, somit auch die specifische Wärme, zu klein ausfällt. Je kleiner der Calorimeter ist, desto bedeutender wird die Unzuverlässigkeit der erhaltenen Resultate.

Aus allen Bestimmungen über die specifische Wärme der Körper geht indessen hervor, daß das Wasser unter allen Körpern, wie bereits bemerkt, die größte Wärmecapacität habe, mit Ausnahme des Wasserstoffgases. Hieraus erklärt sich auch, warum das Wasser so viel Brennmaterial und so lange Zeit bedarf, um bedeutend heiß zu werden, dann aber auch wieder viel langsamer erkaltet, und warum Brandwunden von siedendem Wasser weit stärker und empfindlicher sind, als von gleich heißem Metall. Eben so erklärt sich auch die größere Empfindlichkeit des Queckſilbers gegen Weingeist für Thermometer, da jenes weit weniger Wärme zur Erhöhung seiner Temperatur bedarf, als dieser.

§ 172. (Allgemeine Formeln.) I. Für Mischung gleichartiger Massen. Das Gewicht des kalten Wassers sey a Pfund, das des wärmern b Pfund. Die Temperatur des kältern sey k Grad, die des wärmern h Grad. Da jedes Pfund des kältern k Grad hat, so haben a Pfund ak Grad, und eben so sind in b Pfund des wärmern Wassers bh Grad enthalten. Werden sie mit der nöthigen Vorsicht gemischt, so enthält die Mischung ak + bh Grad und da sich die Wärme gleichförmig durch die ganze Mischung vertheilt, so muß man, um die Wärme von einem Pfund der Mischung zu finden, noch mit a + b dividiren. Nennt man nun x die Wärme eines Pfundes der Mischung, so ist:

$$x = \frac{ak + bh}{a + b}$$

Wendet man die gefundene Formel auf die oben gegebenen Beispiele an, so ist im ersten Beispiel a = b und k = h, also:

$$x = \frac{ak + ak}{a + a} = \frac{2ak}{2a} = k,$$ wie vor der Mischung;

im zweiten Beispiel ist a = b, also

$$x = \frac{ak + ah}{a + a} = \frac{(k + h)\,a}{2a} = \frac{k + h}{2};$$ die Hälfte beider Wärmegrade;

im dritten Beispiel ist x der gefundenen Formel gemäß, daher die Regel.

Das vierte Beispiel ist nur das erweiterte dritte, ändert daher die Formel, aber nicht die Regel ab, und so ist das fünfte Beispiel nur das erweiterte zweite.

*Aufgabe. Aus Wasser von m Grad und von n Grad will man ein Bad bereiten, dessen Wärme b Grad seyn soll; wie viel muß man (dem Gewicht nach) von jedem Wasser dazu nehmen?

Auflösung. Gesetzt, das Bad halte c Pfund Wasser, so muß man von dem einen x, von dem andern y Pfund nehmen. Hieraus folgt:

$$1)\quad x + y = c$$
$$2)\quad mx + ny = bc.$$

Also

$$x = \frac{b - n}{m - n}\,c$$

Digitized by Google

und $$y = \frac{b - m}{n - m} c.$$

Beispiele. 1) Es sey $m = 10^0$; $n = 30^0$; $b = 20^0$. Also $x = {}^1/_2 \times c$ und $y = {}^1/_2 \times c$, d. h. von jedem die Hälfte.

2) Es sey $m = 10^0$; $n = 40^0$; $b = 20^0$. Also $x = {}^2/_3 \times c$ und $y = {}^1/_3 \times c$, d. h. von dem kältern noch einmal so viel, als von dem wärmern.

3) Es sey $m = 0^0$; $n = 80^0$; $b = 25^0$. Also $x = {}^{11}/_{16} \times c$ und $y = {}^5/_{16} \times c$, d. h. auf 11 Theile eiskaltes 5 Theile siedendes Wasser, gibt ein Wasser von $25^0$ Wärme.

II. Für ungleichartige Massen; Bestimmung der specifischen Wärme. Ein kälterer Körper, dessen Gewicht a Pfund ist, der eine Temperatur von k Grad hat und dessen specifische Wärme x seyn soll, werde mit einem heißern Körper einer andern Materie gemischt, der b Pfund wiegt, h Grad hat und dessen specifische Wärme y seyn soll. Die Temperatur der Mischung sey m Grad. Nach der Mischung, wenn sie mit der nöthigen Sorgfalt gemacht worden ist, hat der heißere Körper an freier Wärme verloren $(h - m) \times by$, dagegen der kältere gewonnen $(m - k) \times ax$. Da nun der Gewinn und Verlust sich gleich seyn müssen, so ist:

$$(h - m)\, b \times y = (m - k)\, a \times x.$$

Hieraus ergibt sich die Proportion:

$$(h - m)\, b : (m - k)\, a = x : y.$$

Nimmt man nun x für die specifische Wärme des Wassers als 1, und a und b einander gleich an, so ergibt sich die Proportion:

$$(h - m) : (m - k) = 1 : y$$

$$\text{also } y = \frac{m - k}{h - m}$$

Beispiele. 1) Gleiche Gewichte von Queckfilber und Wasser werden zusammen geschüttet. Vorher habe das Queckfilber $34^0$, das Wasser Wasser $0^0$; die Temperatur der Mischung sey $1^0$, so ist die specifische Wärme des Queckfilbers oder

$$y = \frac{1 - 0}{34 - 1} = {}^1/_{33}.$$

2) Vor der Mischung habe das Queckfilber $0^0$, das Wasser $34^0$; die Temperatur der Mischung sey jetzt $33^0$, so ist abermals

$$y = \frac{33 - 34}{0 - 33} = {}^1/_{33}.$$

Wäre die specifische Wärme eines Körpers zu bestimmen, der sich im Wasser auflöst, so bedient man sich einer Flüssigkeit, die ihn nicht auflöst, deren specifische Wärme aber gegen Wasser bekannt ist. Hätte z. B. ein solcher Körper gegen Weingeist 0,9 specifische Wärme, und dieser gegen Wasser 0,7, so wäre seine specifische Wärme gegen Wasser $= 0{,}9 \times 0{,}7 = 0{,}63$.

III. Für calorimetrische Versuche. Wenn zwei Körper einerlei Gewicht und einerlei Temperatur haben, so wird ihre specifische Wärme sich verhalten, wie die Eismenge, die jeder, bis zur Erlangung von $0^0$, geschmolzen hat. Bezeichnet man diese Eismengen mit e und g, und die specifischen Wärmen mit s und x, so ergibt sich hieraus die Proportion:

$$e : g = s : x.$$

Digitized by Google

des ganzen Raumes der Masse, wozu dann auch deren Poren gehören, in Anschlag kommt, so scheint diese Bestimmung auch genauer zu sein, als die Bestimmung nach dem Gewicht, bei welchem die Wärme in den Poren unbeachtet bleibt.

§ 174. (Capacitätsänderungen.) Daß durch chemische Mischungen und Trennungen entweder Wärme, oder Kälte entstehen kann, ist eine allgemein bekannte Thatsache, und zum Theil bereits auch angeführt worden (§ 163). Selten, fast nie, wird aber die Berechnung, die man im voraus über die specifische Wärme einer solchen chemischen Mischung oder Trennung nach einer Tabelle anstellt, mit deren wirklichen specifischen Wärme im Einklang seyn, und in der Erfahrung sich bewähren. Zur nähern Erläuterung können folgende Beispiele dienen. Auf 16 Loth ungelöschten Kalk, dessen specifische Wärme, vermöge der Tabelle, 0,2169 ist, werden 9 Loth Wasser, das mit dem Kalk gleiche Temperatur hat, und dessen specifische Wärme 1 ist, gegossen. Die specifische Wärme, welche die Verbindung des Wassers mit dem Kalk haben müßte, läßt sich nun so berechnen: 16 Loth Kalk haben 16mal 0,2169 = 3,1701, und 9 Loth Wasser haben 9mal 1 = 9 specifische Wärme. In der Verbindung hätten sie also 12,4704. Dividirt man nun diese Zahl durch die Summe beider mit einander verbundenen Mengen, d. i. durch 25, so müßte jedes Loth 0,4988 specifische Wärme haben. Statt dessen findet sich aber, daß 16 Theile Kalk und 9 Theile Wasser in ihrer Verbindung nur von 0,4391 specifischer Wärme sind Bei einer Mischung von 4 Theilen Schwefelsäure und 3 Theilen Wasser, die gleiche Temperaturen haben, tritt derselbe Umstand ein. Nach der Berechnung, die man, mit Hülfe der Tabelle der specifischen Wärme, eben so wie die vorige, anstellen kann, sollte jeder Theil dieser Mischung von 0,6198 specifischer Wärme seyn, allein sie ist nur 0,6032. Augenscheinlich muß daher bei diesen Mischungen die specifische Wärme oder die Capacität Veränderungen erleiden, die nicht durch Rechnung, sondern nur auf dem Wege der Erfahrung, durch Versuche, bestimmbar sind. Auf diesem Wege hat sich dann auch ergeben, daß diese merkwürdige Erscheinung so allgemeiner Art ist, daß fast allemal, wo zwei Stoffe sich chemisch verbinden oder trennen, eine solche Capacitätsänderung stattfinde.

Eine Capacitätsänderung ist aber entweder eine Capacitätsvermehrung, oder eine Capacitätsverminderung. Im ersten Fall fällt die berechnete specifische Wärme kleiner, als die sich wirklich zeigende aus, im andern Falle aber ist es umgekehrt, die berechnete fällt größer als die wirkliche aus. Je mehr die Capacität sich vermehrt, desto mehr Wärme wird dann auch gebunden und unwirksam gemacht, so wie im Gegentheil bei einer Capacitätsverminderung Wärme entbunden und frei wird. Die nächsten Folgen der Capacitätsveränderungen müssen also die seyn, daß bei einer Capacitätsvermehrung Kälte, bei einer Capacitätsverminderung aber Wärme entstehen muß. Ein Aufguß von Wasser auf ungelöschten Kalk gibt, wie das angeführte Beispiel zeigt, eine Capacitätsverminderung, und eben darum entsteht Wärme, wenn Kalk in Wasser sich auflöst, eine Erfahrung, die man bei'm Kalklöschen stets sehen kann. Die Mischung der Schwefelsäure mit Wasser ist ebenfalls eine Capacitätsverminderung, daher auch hier Wärme entsteht. Hingegen erzeugt Kochsalz in Wasser aufgelöst eine Capacitätsvermehrung, wo also Kälte entstehen muß.

Aber nicht nur durch chemische Operationen können Capacitätsver-

Digitized by Google

änderungen stattfinden, auch solche Umstände, welche einen Körper entweder dichter oder lockerer machen, haben auf diese Veränderung bedeutenden Einfluß, wie dieses namentlich der Fall ist, wenn Körper ihren Aggregatzustand verwandeln, da jeder Aggregatzustand immer nur unter einer bestimmten Temperatur besteht, wie z. B. Wasser, das von Null bis 80 Grad R. tropfbar flüssig, unter Null fest und über 80 Grad ausdehnsam wird. Wie mit dem Wasser, sehen wir auch dieselben Wirkungen der Wärme bei sehr vielen andern Körpern. Obgleich es nun einige feste Körper gibt, die man durch Temperaturänderungen allein noch nicht in tropfbare und luftförmige, tropfbare, die man noch nicht in feste, und luftförmige, die man noch nicht in tropfbare und feste hat verwandeln können, weil man nicht im Stande war, die dazu erforderlichen Temperaturen hervorzubringen, so kann man doch allgemein annehmen, daß alle feste Körper tropfbar, und alle tropfbare Körper luftförmig werden, wenn die Temperatur eine hinlängliche Erhöhung erreicht, so wie umgekehrt, luftförmige Körper tropfbar, und diese fest werden, wenn die Temperatur hinreichend erniedrigt werden kann. Wo aber bei Verwandlung des Aggregatzustandes eines Körpers seine äußere Temperatur sich erhöhet entsteht eine Capacitätsverminderung, indem Wärme frei wird, dagegen erfolgt eine Capacitätsvermehrung, wenn die äußere Temperatur eines Körpers bei dieser Verwandlung sich erniedriget, wobei Wärme verschluckt wird.

Folgende Gesetze können daher als allgemein gültige betrachtet werden.

I. Wärme verschwindet und wird gebunden, wenn ein fester Körper in den tropfbaren Zustand übergeht, wie auch, wenn ein tropfbor flüssiger Körper in einen elastisch flüssigen sich verwandelt.

II. Wärme wird entbunden und frei, wenn ein tropfbar flüssiger Körper fest wird, wie auch, wenn ein elastisch flüssiger Körper tropfbar flüssig wird, und diese Wärme ist dann allemal jener gebundenen gleich, oder beinahe gleich.

§ 175. (Erläuternde Phänomene.) Daß ein Pfund Wasser von 60° Réaumür ein Pfund Eis, dessen Temperatur 0° ist, schmelzen kann, ist bereits angegeben worden (§ 171. I.). Merkwürdig ist aber dabei, daß die zwei Pfund Wasser, die man nach Schmelzung des Eises erhält, nur eine Temperatur von 0° haben, und daß diese Temperatur auch von dem Augenblick an, wo das Wasser aufgegossen wird, bis dahin, wo alles Eis geschmolzen ist, immer 0° bleibt, während doch ein Pfund Wasser von 60° mit einem Pfund Wasser von 0° zwei Pfund Wasser von 30° liefert (§ 170). Die Wärme des Wassers ist also von dem schmelzenden Eise, das aus dem festen Zustand in den tropfbar flüssigen überging, verzehrt und gebunden worden. Da nun ein jeder solcher Uebergang immer nur unter einer bestimmten Temperatur vor sich geht, so wird auch allemal, so lange dieser Uebergang noch nicht vollendet ist, eine bestimmte Menge Wärme dadurch verzehrt und gebunden. Wie nämlich eine Eismasse von 1 ℔ 60, oder, nach den neuesten Versuchen, 63,4 Grad Wärme nach R. = 79,25 Grad C. verzehrt, so bindet der Schwefel, wenn er flüssig wird, 80, Blei 90, Wachs 97, Zink 274, Zinn 278° C.

Je kälter es wird, desto mehr Eis setzt sich an, desto dicker und fester muß es dann auch werden. Von ganz besonderer Festigkeit ist das Eis in den hochnördlichen Gegenden. Im kalten Winter 1740 ließ die russische Kaiserin Anna zu Petersburg ein Haus von 52 Fuß Länge, 16 Fuß Breite und 20 Fuß Höhe aus lauter Eisstücken bauen. Aus

Digitized by Google

durch Einlegung in kaltes Waſſer in einem mäßig warmen Zimmer wieder aufthauen. Während dieſes erfolgt, werden ſie von einer Eisrinde überzogen, indem ſie dem Waſſer ſeine Wärme entziehen. Da die Capacität des Weins für die Wärme größer als die des Waſſers iſt, ſo kann man auch gefrornen Wein in kaltem Waſſer aufthauen, wobei das Waſſer, deſſen Wärme von dem aufthauenden Wein verſchluckt wird, um die Flaſche herum gefriert.

Zimmer und Straßen werden im Sommer durch Beſprengung mit kaltem Waſſer abgekühlt, weil dieſes durch die Wärme in elaſtiſchen Dunſt übergeht, und dieſe dadurch gebunden wird. Eben deßhalb empfindet man Kälte, wenn man aus einem Bade ſteigt, deßgleichen, wenn naſſe Kleider auf dem Leibe verdunſten, ſo wie wir auch durch Ausdünſten uns abkühlen, und naſſe Wäſche, in warmer Stube getrocknet, die Stube abkühlt. Heiße metallne Gefäße kann man mit naſſen Tüchern anfaſſen. Umwickelt man Gefäße, worin Getränke ſich befinden, mit naſſen Tüchern, ſo zieht das Waſſer in den Tüchern die Wärme der Getränke aus, indem es nach und nach verdunſtet, und dieſe werden dadurch abgekühlt. In ſteinernen und thönernen Gefäßen, durch deren Poren immerfort eine unmerkliche Verdunſtung ſtattfindet, bleiben deßhalb auch die Getränke kühler. In Italien, Spanien und Portugal hat man hierzu unglaſirte Gefäße aus ſehr porösem Thon, Alcarazzas genannt. In Oſtindien bedient man ſich zur Abkühlung der Zimmer einer Art Matten, die aus langen Wurzeln, Tatties genannt, verfertigt werden. Man befeſtigt dieſe Matten zwiſchen Thür- und Fenſteröffnungen, und beſprengt ſie anhaltend mit Waſſer. Dieſes wird durch den heißen Wind, der durch die Matten ſtreicht, in Dunſt aufgelöſ't, und dadurch eine ſo große Abkühlung bewirkt, daß das Thermometer, das in dieſem heißen Lande, ſelbſt im Schatten, oft auf 40 Grad R. ſteht, in einem auf dieſe Weiſe abgekühlten Zimmer nur etwas über 20 ſolcher Grade zeigt. Auch benutzt man in dieſem Lande die durch Verdunſtung des Waſſers entſtehende Kälte, um dickes Eis in großer Menge zu bereiten. In der Gegend von Benares am Ganges findet ſich eine Anſtalt, wo dieſe merkwürdige Bereitung im Großen getrieben, und ungefähr ein Morgen großes Feld dazu benutzt wird. Die Zeit der Bereitung iſt zwar im December, Januar und Februar, allein auch in dieſen Monaten beträgt die Hitze im Freien, ſelbſt an ſchattigen Plätzen, noch immer an 30 Grad R. In das Feld zur Eisbereitung werden quadratförmige Vertiefungen ausgegraben, die dann mit trockenem Stroh oder Abfall vom Zuckerrohr ausgefüllt werden. Auf dieſe Ausfüllung werden flache irdene Pfannen, die unglaſirt und ungemein poröſ ſind, geſetzt, und gegen Abend werden ſie mit friſchem Waſſer gefüllt. Dieſes verdunſtet die Nacht hindurch ſo ſtark, daß es am andern Morgen zwiſchen 5 und 6 Uhr als zolldickes Eis aus den Pfannen genommen und in Eisgruben aufbewahrt wird. Da die Arbeit vor Sonnenaufgang vollendet ſeyn muß, ſo ſind bei dieſer Anſtalt, wo das Eisfeld mit hunderttauſend Pfannen beſetzt iſt, über dreihundert Arbeiter angeſtellt. Um das Herausnehmen ohne Zerbrechung der Pfannen zu bewerkſtelligen, werden dieſe von Zeit zu Zeit inwendig mit etwas Butter beſtrichen. In Calcutta und noch an andern Orten ſind ähnliche Anſtalten angelegt.

Dieſem Verfahren nicht unähnlich iſt ein anderes, deſſen man in ebenen Gegenden Ungarns zur Abkühlung des Weines ſich bedienen ſoll.

Digitized by Google

Man legt die mit Wein gefüllten Flaschen in eine Grube von etwa zwei Fuß Tiefe, die man dann wieder zuwirft, und über welcher man ein schnell verloderndes Strohfeuer macht. Ist dieses erloschen, so räumt man die Grube schnell wieder auf. Der Wein hat dann so stark verdunstet, daß er ganz kalt geworden ist.

In etwas starkem Papier kann man Wasser über einer Lichtflamme kochen, ohne daß das Papier verbrennt, weil alle Wärme auf die Verdampfung des Wassers verwendet wird. Aus eben dem Grunde schmelzen auch zinnerne Gefäße nicht, wenn sie auf dem Feuer stehen, oben offen und mit Wasser gefüllt sind.

Menschen, die sehr zum Schwitzen geneigt sind, können eben darum weit größere Hitze aushalten, als andere, die es nicht sind, und daher weniger ausdünsten. Wer kennt nicht das Wohlgefallen der Britten am Sonderbaren! Ihrer vier, Fordice, Banks, Solander und Blagden, ließen sich einmal einen Ofen heizen, in welchem das Thermometer auf 90° R., also noch 10° über den Siedepunkt stieg, und worin ein Stück Fleisch nur etwas über eine halbe Stunde brauchte, um gebraten zu werden. In diesen Ofen stiegen sie hinein und hielten eine Zeit lang, heftig schwitzend, darin aus. Bloß weil sie stark schwitzen, können auch die Arbeiter bei dem ungeheuern Feuer der Schmelzöfen und Schmiedeessen es aushalten. Bei'm Thauwetter hat man durch Verdunstung des Schnees an den Füßen weit kälter, und kann sie in einem warmen Zimmer, wo die Verdunstung des Schnees desto schneller vor sich geht, leicht erfrieren.

So erzeugt schon die Verdunstung des Wassers merkliche Kälte. Je flüchtiger aber die verdunstende Flüssigkeit ist, desto schneller geht auch die Verdunstung vor sich, und desto größer ist die Kälte, die daraus entsteht. Aether und Weingeist, die von allen Flüssigkeiten am schnellsten verdunsten, bringen daher auch die stärksten Wirkungen hervor. Umwickelt man eine Thermometerkugel mit Baumwolle, und befeuchtet sie mit Aether, so sinkt das Thermometer, selbst im Sommer, unter den Gefrierpunkt herab. Einige Tropfen Weingeist, noch mehr gut rectificirte Naphta, die man auf der Hand verdunsten läßt, geben eine fühlbare Kälte. Füllt man eine kleine recht dünne Glasröhre mit Wasser an, und befeuchtet sie mit Naphta, so gefriert nach und nach das Wasser, selbst an heißen Sommertagen. Schwingt man bei diesem Versuch die Röhre hin und her, so erfolgt das Gefrieren des Wassers desto schneller. Steckt man vor dem Versuche einen Draht in das Röhrchen, der bis auf dessen Boden reicht, so kann man damit das Eis aus dem Röhrchen herausziehen.

Allemal gelingt indessen dieser Versuch nicht, besonders wenn er an einem Ort, wo die Luft zu warm ist, angestellt wird. Man stellt ihn daher lieber unter dem Recipienten der Luftpumpe, im luftverdünnten Raume, an. Hofrath Meyer versichert, daß er mit folgendem Verfahren nie umsonst experimentirt habe. Ein cylindrisches dünnes Gläschen, das etwa drei Zoll hoch und sieben Linien weit ist, wird bis auf $^3/_4$ seiner Höhe mit Vitriolæther gefüllt, und mit einer Blase zugebunden. Die Blase wird, um das Verdunsten des Aethers nicht zu hindern, an mehrern Stellen mit einer feinen Nadel durchstochen. Dieses Gläschen stellt man in ein anderes Gefäß von dünnem Glase, das etwa $1^2/_3$ Zoll hoch und 1 Zoll weit ist, und den innern Raum zwischen dem Gläschen und dem Gefäße füllt man mit Wasser an. Beide zusammen stellt man in



Digitized by Google

ein drittes Glas, wozu man ein gewöhnliches Weinglas nehmen kann, das etwa $1^1/_2$ Zoll hoch und $1^2/_3$ Zoll weit ist. Der innere Raum zwischen dem mittelsten und diesem äußern Glase wird wieder mit Aether ausgefüllt. Stehen die innern Gläser nicht fest zwischen diesem äußern Glase, so schiebt man einige Stückchen Kork zwischen deren Ränder. So ist das Wasser von innen und außen mit Aether umgeben, wozu etwa ein Kubikzoll hinreichend ist, und nun setzt man die ganze Vorrichtung unter einen kleinen Recipienten auf den Luftpumpenteller, und stülpt, um die äußere Wärme desto besser abzuhalten, noch einen größern Recipienten darüber. Behutsam pumpt man dann die Luft aus, und während der Aether dabei verdunstet, verwandelt sich das Wasser in Eis. Dieses ist wohl einer der schönsten Versuche, die man mit der Luftpumpe anstellen kann.

Daß bei'm Uebergang eines tropfbar flüssigen Körpers in den festen Zustand, und überhaupt bei zunehmender Dichtigkeit eines Körpers, Wärme entbunden und frei wird, ist ebenfalls der Erfahrung gemäß. Wasser, das zu Eis werden soll, gibt erst Wärme ab, und da dieses Abgeben nur allmählich erfolgt, so gefriert es auch erst nach und nach, immer nur derjenige Theil, welcher die gehörige Menge Wärme bereits abgegeben hat. Wenn Wasser auf gebrannten Kalk gegossen wird, so wird ein großer Theil davon fest, daher die Mischung sich so beträchtlich erhitzt. Oel mit concentrirter Salpetersäure, kölnisches Wasser mit Wasser, Weingeist mit Wasser vermischt, erzeugt ebenfalls Wärme. Talg und Wachs, die flüssig waren und wieder gestehen, erkalten sehr langsam, weil sie die Wärme, die sie im flüssigen Zustand gebunden hielten, bei'm Uebergang in den festen Zustand nur schwer wieder fahren lassen. Dasselbe ist auch der Fall mit Brei und Suppen, die nicht stark dampfen, mit der Luft, wenn sie, wie z. B. im pneumatischen Feuerzeuge (§ 163. 1) verdichtet wird. Löst man in warmem Wasser so viel Glaubersalz auf, bis es damit gesättigt ist, so bleibt die Auflösung, wenn man sie auch einer starken Kälte aussetzt, doch noch lange flüssig und klar, wenn sie ruhig stehen bleibt. In dem Augenblick aber, wo die Auflösung sich krystallisirt, welches um so eher erfolgt, wenn man, nachdem sie schon tüchtig erkaltet ist, sie schüttelt, oder einen Glaubersalzkrystall hinein wirft, steigt ein hinein gehaltenes Thermometer um mehrere Grade, indem bei dem Uebergang der Auflösung zu festen Krystallen Wärme frei und für das Thermometer wirksam wird. Auch gemeines Wasser kann, ohne zu gefrieren, einige Grade unter dem Frostpunkt erkalten, wenn es ruhig steht. Wird es, so weit erkaltet, geschüttelt, so gefriert es plötzlich, wobei aber so viel Wärme frei wird, daß das Thermometer bis auf den Frostpunkt steigt. Eben deßwegen darf der natürliche Frostpunkt am Thermometer nicht in eiskaltem Wasser bestimmt werden, sondern man muß ihn durch aufthauendes Wasser oder in Schnee, der eben schmilzt, bestimmen (§ 158).

Wie endlich auch Wärme entbunden und frei wird, wenn ein Körper aus dem elastisch flüssigen Zustand in den tropfbaren übergeht, zeigt sich unter andern an den Dämpfen, die allemal, wo sie wieder in die tropfbare Gestalt übertreten, weit mehr Wärme von sich geben, als eine eben so große Menge der Flüssigkeit, aus der sie entstanden sind, von sich geben würde, wenn sie auch eben so stark wie die Dämpfe erhitzt worden wäre. So erhitzt Wasserdampf den Deckel eines Gefäßes, wo er wieder in Wasser verwandelt wird, sehr stark. Eben deßhalb wendet man den Wasserdampf häufig auch zum Erwärmen an, so wie auch um Flüssigkeiten

Digitized by Google

heiß zu machen. Die starke Erhitzung des Körpers, wenn man heftig ein- und ausathmet, z. B. wenn man eine schwere körperliche Arbeit zu verrichten hat, in großer Angst ist, heftig läuft u. s. w., ist ebenfalls eine Folge der vielen Wärme, die sich alsdann aus dem Sauerstoff, den man in zu großer Menge dabei einathmet, entbindet, und dem Blute sich mittheilt (§ 131), wodurch dieses, nicht immer ohne Nachtheil für die Gesundheit, übermäßig erhitzt wird.

§ 176. (Schmelzen.) Durch freie Wärme wird die Cohäsion der Körper vermindert, und auch der festeste Körper kann sich dieser Einwirkung der Wärme nicht entziehen. Indessen ist sie nicht für alle Körper von gleichem Erfolg. Indem es eine große Menge von Körpern gibt, die durch Hitze getrennt, in ihre ungleichartigen Bestandtheile zerlegt, d. h. *zersetzt* werden, gibt es dagegen auch wieder viele andere, die keine Zersetzung, sondern nur eine Aufhebung ihrer Cohäsion erleiden, und dadurch aus dem festen in den tropfbarflüssigen, und zuletzt aus diesem in den elastischflüssigen Zustand übergehen. So leidet z. B. Marmor, der aus Kohlensäure und Kalkerde besteht, durch Hitze eine Zersetzung, indem die Kohlensäure in die Luft geht, und die bloße Kalkerde, über die alsdann nur der unermeßlichste Grad von Hitze noch einige Gewalt zu haben scheint, bleibt zurück. Zersetzt werden überhaupt alle Körper, die aus Theilen bestehen, die nicht sehr innig zusammenhängen, dabei ungleiche Grade der Flüchtigkeit besitzen, und wozu vornehmlich solche gehören, die aus organisirten Körpern entstanden sind. Die Metalle hingegen verlieren durch die Wärme nur ihre Cohäsion, kommen, wie man es nennt, *in den Fluß*, und *schmelzen*. Für die merkwürdigen Gesetze der Bindung und Entbindung der Wärme liefert jede Schmelzung neue Belege. So lange nämlich der Körper noch in seiner festen Form vorhanden ist, bringt jeder Zufluß von Wärme auch eine Erhöhung der Temperatur hervor, so wie aber die Schmelzung beginnt, bindet sie jeden Zufluß von Wärme, und wie viel Wärme man nun auch noch hinzuströmen läßt, so findet doch, gerade wie bei der Auflösung des Eises im Wasser, nicht eher eine Temperaturerhöhung statt, bis erst der ganze Körper völlig geschmolzen ist. Hört nun der Zufluß der Wärme auf, so lassen die geschmolzenen Theile die gebundene Wärme wieder fahren, und indem sie der Kraft folgen, mit welcher sie sich unter einander selbst anziehen, fangen sie allmählich zu erstarren und wieder fest zu werden an. In diesem Zustand läßt sich dann ein geschmolzener Körper zur Annahme beliebiger Formen zwingen.

Da die Cohäsion so sehr verschiedene Grade hat (§ 24), so versteht es sich leicht von selbst, daß manche Körper leichter, andere schwerer schmelzen. Jene heißen *leicht-*, diese *strengflüssige Körper*. Blei, Zinn, Zink, Wismuth, Schwefel, Talg, Wachs ꝛc. ꝛc. gehören zu den leichtflüssigen, Eisen, Silber, Gold, Kupfer, Messing, Nickel ꝛc. ꝛc. zu den strengflüssigen Körpern. Für sehr streng flüssige Körper, z. B. Sand, Quarz, Kiesel, Platin ꝛc. ꝛc., hat man gewisse Zusätze (*Zuschläge*) erfunden, mit denen verbunden sie leichter schmelzen. Dergleichen Zusätze nennt man *Schmelzungsmittel*. So sind z. B. Fluß- und Kalkspath Schmelzungsmittel für manche Erze, Arsenik für Platin, Potasche und Salpeter für Sand, Gyps für Quarz u. s. w. Ein Gemisch von 1 Theil Blei, 2 Theilen Wismuth und 1 Theil Zinn, das sogenannte *Rose'sche Metallgemisch*, wird so leichtflüssig, daß es schon im kochenden Wasser schmilzt; noch



Digitized by Google

leichter schmilzt eine Mischung von 3 Theilen Blei, 5 Theilen Wismuth und 2 Theilen Zinn (Onion'sche Mischung). Viele Körper, wie Erden, Edel- und andere Steine, die man lange für ganz unschmelzbar gehalten hat, kann man jetzt, wo man die Mittel entdeckt hat, außerordentliche Grade von Hitze hervorzubringen, ebenfalls schmelzen. Man bedient sich hierzu des Knallgases, mittelst einer von Newmann dazu erfundenen Maschine, die man das Knallgasgebläse nennt.

§ 177. (Verdunstung.) Ist ein Körper in den tropfbaren Zustand versetzt, sey es nun seiner natürlichen Beschaffenheit nach, wie das Wasser, oder durch die trennende Kraft der Wärme, wie ein geschmolzenes Metall, so behält er diesen Zustand so lange bei, so lange die trennende Kraft der Wärme den erforderlichen Grad dazu behält. Nimmt aber dieser Grad fortwährend so zu, daß die trennende Kraft der Wärme groß genug wird, nicht nur die, auch im flüssigen Zustande, noch immer stattfindende Anziehung der Körpertheile unter sich zu überwinden, sondern auch den Druck, den bei einer Flüssigkeit die untern Schichten von den darüber liegenden zu erleiden haben (§ 93), und auch den Druck, den die Luft auf die Oberfläche der Flüssigkeit ausübt, und der für jeden Quadratzoll Grundfläche 15 Pariser ℔ beträgt (§ 108); so fängt die Flüssigkeit an, aus dem tropfbaren in den ausdehnsamen Zustand überzugehen, und dieses ist, was man allgemein die Verdunstung nennt.

Man würde indessen sehr irren, wenn man die eben angeführte Bedingung, unter welcher die Verdunstung eines Körpers durch alle seine Theile hindurch stattfindet, so deuten wollte, daß bei einem Körper, dessen Temperatur zu einer solchen Verdunstung zu niedrig sey, gar keine Verdunstung statt habe. Dieses ist der Erfahrung, nach welcher, auch in den höchsten Kältegraden, noch immer eine unzählige Menge sehr kleiner Theilchen von der Oberfläche eines jeden Körpers sich auflösen, und in unsichtbarer Dunstgestalt in die Luft gehen, geradezu entgegen. Ein Stück Eis, das ganz trocken ist, verliert, auch in der größten Kälte, täglich etwas von seinem Gewicht. Dieser Versuch läßt sich mit einer recht empfindlichen Wage anstellen, und aus ihm sich geradezu auf eine Verdunstung schließen. Bei einem Gefäß voll Wasser, das man offen der freien Luft aussetzt, zeigt sich diese Verdunstung ebenfalls, indem das Wasser an Menge immer weniger wird, zuletzt ganz verschwunden und ausgetrocknet ist. Aber auch bei solchen Körpern, deren Verdunstung so unendlich fein ist, daß zu ihrer Wahrnehmung die allerempfindlichste Wage und eine lange Beobachtungszeit nicht hinreichen, kann sie dennoch vermittelst des Geruchs wahrgenommen werden. Durch diesen Sinn wird es eigentlich erst recht deutlich, daß von jedem Körper höchst feine Theile durch die Wärme sich verflüchtigen und in die Luft sich verbreiten. Ein kleines Körnchen Moschus, das in Jahren noch um nichts leichter geworden ist, dünstet doch so stark aus, daß der Geruch nur sehr schwer und erst in langer Zeit sich wieder verliert. Blumen und Kräuter, die mit ihrem Duft einen großen Raum erfüllen, verlieren dadurch nichts an Gewicht. Selbst jedes Metall hat einen eigenthümlichen, wenn schon nicht jeder Nase wahrnehmbaren Geruch. Viel feiner noch als bei dem kultivirten Menschen findet sich dieser Sinn bei dem Menschen, der noch im rohen Naturstand lebt, bei Hunden und andern Raubthieren, die durch ihn, auch in der dunkelsten Nacht, ihre Nahrung und ihren Aufenthalt zu finden wissen.

Digitized by Google

Erfahrungen der Art, welche unzweideutig darthun, daß die Körper in jeder Temperatur, selbst in der strengsten Kälte, noch verdünsten, ergeben, daß jeder Körper stets eine gewisse Menge Wärme enthalte, die auf jeden Fall hinreicht, seine trennende Kraft an dessen Oberfläche, wo er nach Außen hin an der Cohäsion der innern Theile keinen Widerstand findet, geltend zu machen, und äußerst feine Theilchen derselben zu verflüchtigen. Obgleich aber diese Wirkung der Wärme immer größer werden muß, je höher die Temperatur wird, so kann sie doch dann erst durch den ganzen Körper erfolgen, wenn die Temperatur eine solche Höhe erreicht hat, daß der Körper nicht nur durchaus flüssig, also wenn er fest war, völlig geschmolzen ist, sondern auch der Druck der flüssigen Theile unter sich, so wie der äußere Luftdruck überwunden ist. Zu dieser Verdunstung wird also immer, nach Maßgabe des Körpers, ein bestimmter Grad von Wärme erfordert.

Aus dieser Ansicht über die Verdunstung folgt nun von selbst, daß zwischen Dunst und Dampf nur der Unterschied stattfindet, daß jener bei jeder Temperatur unmerklich von der Oberfläche der Körper ausgeht, dieser aber eine höhere Temperatur erfordert, mehr sichtbar und rascher erfolgt. Nicht alle Physiker sind indessen mit dieser Ansicht einverstanden, und manche nehmen Dunst und Dampf darin wesentlich von einander verschieden an, daß jener durch das Auflösungsvermögen der Luft, dieser aber durch das der Wärme entstehe. Mit dieser Meinung scheint aber die Erfahrung, daß Wasser in einem luftleeren Raume, wie unter dem Recipienten einer Luftpumpe, ebenfalls verdunstet, nicht übereinzustimmen. Außerdem ist es erwiesen daß der Druck der Luft, der Verdunstung hinderlich ist.

§ 178. (Sieden.) Werden tropfbar flüssige Körper oder geschmolzene feste Körper einer so starken Hitze ausgesetzt, daß die bereits angegebenen Hindernisse, die der Verdunstung im Wege stehen, dadurch überwunden werden können, so fängt diese durch alle Theile der Flüssigkeit sich zu zeigen an, und durch die Dunstblasen, die dann aufsteigen, werden manche Flüssigkeiten in jene wallende Bewegung versetzt, die man das Sieden oder Kochen nennt. Das Sieden ist demnach die Verwandlung einer tropfbaren Flüssigkeit in Dampf, der sich sowohl auf der Oberfläche derselben, als in deren Innern bildet.

Wird Wasser allmählich erwärmt, so steigen zuerst kleine Blasen mit mäßiger Geschwindigkeit, so daß sie sich einzeln wahrnehmen lassen, in die Höhe. Diese Blasen rühren von der Luft her, die im Wasser enthalten ist, und die, durch Wärme verdünnt, sich daraus entwickelt und emporsteigt. Dieses sind demnach bloß Luftblasen. Hat aber das Wasser eine Temperatur von 80 Grad Réaumür oder 212 Grad Fahrenheit erreicht, so steigen vom Boden des Gefäßes Blasen mit sehr großer Gewalt und Geschwindigkeit und schnell hintereinander in die Höhe. Dieses sind eigentliche Dampfblasen, d. h. Wassertheile, die durch Wärme in den ausdehnsamen Zustand versetzt und luftförmig geworden sind. Das Wasser hat sich dabei, wenn es von Null Grad bis zu 80 Grad Réaumür oder von 32° bis 212° Fahrenheit erwärmt worden ist, um etwas über $^1/_{26}$ seines Volumens ausgedehnt (§ 155. II.), ist in heftige Aufwallung gerathen, und hat durch die Menge der aufsteigenden Dampfblasen an Durchsichtigkeit verloren. In diesem Zustand ist dann das Wasser in völligem Sieden begriffen. Da sehr viele Luftblasen an der Oberfläche des Wassers zer-

Digitized by Google

platzen, auch Dampf- und Wassertheilchen stoßartig ihre Stellen wechseln, so entsteht dadurch jenes Sausen, welches oft das Sieden begleitet, und das für metallne Gefäße noch von einem eigenthümlichen Geräusch begleitet ist, dem sogenannten Simmern. Hat aber einmal das Wasser in einem Gefäße, aus welchem die aufsteigenden Dampfblasen entweichen können, die Temperatur der Siedhitze erreicht, so läßt sich diese Temperatur nicht weiter mehr erhöhen, und wie viel Wärme man nun auch noch dem siedenden Wasser zuleiten mag, so wird doch ein hineingehaltenes Thermometer um nichts mehr steigen, und das Gefäß, worin es kocht, nicht eher schmelzen, wenn es überhaupt schmelzbar ist, bis alles Wasser darin völlig verkocht ist. Sogar Wassertropfen, die auf glühendem Gold herumrollen, nehmen, nach den Versuchen des berühmten und sehr geschickten Chemikers Döbereiner, keine höhere Temperatur an, und werden demnach unter diesen Umständen nicht in ihre ungleichartigen Bestandtheile, wie bei dem Lavoisier'schen Versuche (§ 147. III.) zerlegt, sondern nur in Dunst aufgelöst. Die Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung liegt in den aufsteigenden Dampfblasen, durch welche die einströmende Wärme gebunden und davon geführt wird. Die Vergrößerung der Hitze bewirkt bloß eine schnellere Verdampfung. Machte man in der Haushaltung von dieser Erfahrung einen richtigen Gebrauch, so würde die Holzmenge, die man gewöhnlicherweise bei'm Kochen des Wassers und der Speisen verwendet, um keine geringe Menge vermindert werden. Abgesehen davon, daß überhaupt bei'm Kochen viel mehr Oekonomie in der Feuerung und deren Benutzung stattfinden könnte, wird schon dadurch allein, daß man Wasser stets kochend erhält, eine unglaubliche Holzverschwendung veranlaßt, indem das zur Erhaltung dieses Zustandes verwendete Holz für die Beförderung einer nutzlosen Verdampfung darauf geht. Erhielte man dagegen das Wasser, wenn es einmal gekocht hat, bloß heiß, was in den meisten Fällen seinem Gebrauch entspräche, so würde man schon hierdurch Vieles ersparen können. Graf Rumford, dem die Lehre von der Wärme so viele schätzbare Beiträge zu verdanken hat, legte deßhalb auch ein Kapital nieder zur Belohnung derer, die durch neue Entdeckungen mehr Oekonomie in der Feuerung veranlassen. Er selbst hat in einer Kaserne zu München, wo man auf die gewöhnliche Art zu kochen 10 ℔ Holz verbrauchte, um 11 ℔ Suppe zu bereiten, eine Einrichtung angegeben, wo für 600 ℔ Suppe nur 44 ℔ Holz darauf gehen. Nach der gewöhnlichen Art würde man zu so viel Suppe über 545 ℔ Holz, also mehr als 12mal so viel, gebraucht haben. Graf Rumford konnte also mit einer Klafter Holz so viel leisten, als auf dem gewöhnlichen Wege mit 12 Klaftern geleistet wird.

Durch ein eigends eingerichtetes Calorimeter hat Rumford gefunden, daß bei vollkommener Verbrennung (§ 163. 3) 1 Pfund der folgenden Brennmaterialien hinreicht, so viel Pfunde Wasser zu verdampfen, als die nebenstehenden Zahlen angeben, nämlich: trocknes Buchenholz 3; gute Steinkohlen 6; Eichenholz $2\frac{1}{4}$; Torf $1\frac{1}{2}$. Weitere Versuche mit solchen Apparaten, die man auch Brennkraftmesser genannt hat, ergaben, daß folgende Pfunde Wasser von Null Grad bis zur Siedhitze durch 1 Pfund der nachstehenden Brennmaterialien gebracht werden können, nämlich: trocknes Holz 36; gute Steinkohlen 70; guter Torf 30; Alkohol 60.

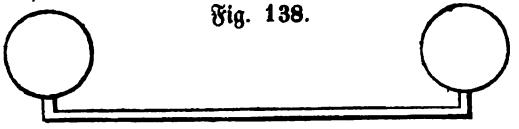
Aehnliche Erscheinungen, wie bei'm Sieden des Wassers, zeigen sich

Digitized by Google

überhaupt auch bei'm Sieden vieler anderer Flüssigkeiten, die dann nur darin vom Wasser abweichen, daß der Siedepunkt bei einigen tiefer, bei andern höher liegt (§ 162), keine aber nicht noch heißer werden kann, als sie bei'm Sieden ist, wenn sie in offnen Gefäßen siedet. Süßes Wasser siedet schon eher als Meerwasser. Auch ändert sich der Siedepunkt und die Temperatur des Dampfes für zwei Flüssigkeiten, die mit einander gemengt sind, und diese Aenderung ist noch dadurch bedingt, ob die Flüssigkeiten sich chemisch mit einander verbinden, oder ob dieses nicht der Fall ist, wobei es alsdann auch noch darauf ankommt, ob die flüchtigere Flüssigkeit die obere oder untere ist. Manche Flüssigkeiten, z. B. fette Oele, leiden bei'm Uebergang in den luftförmigen Zustand zugleich auch eine Veränderung in ihren chemischen Mischungen. Ueber viele feste Körper hat erst die stärkste Hitze einige Gewalt. Diese nennt man daher *feuerbeständig*. Zu ihnen gehören u. a. viele Metalle, z. B. Gold, Platin, Eisen u. a. m.; auch die Kohle und die reinen Erden sind feuerbeständig.

Aber auch eine und dieselbe Flüssigkeit siedet nicht an einerlei Ort zu jeder Zeit bei einerlei Siedepunkt. Mancherlei Umstände haben darauf einen wesentlichen Einfluß. In metallnen Gefäßen siedet eine Flüssigkeit eher, als in gläsernen; auch eher, wenn das Gefäß mehr rauhe, als glatte Wände hat. Besonders aber hängt der Siedepunkt von dem Druck der Luft ab. Je größer dieser Druck, je höher demnach der Barometerstand ist, desto später tritt das Sieden ein, und umgekehrt. Der Grund dieses Umstands liegt in der Undurchdringlichkeit, vermöge welcher keine Dampfblasen aufsteigen können, ohne erst die Luftmasse, welche über der Flüssigkeit steht, und auf sie drückt, fortgeschoben zu haben, was immer um so langsamer erfolgen kann, je größer dieser Druck ist. Wo gar keine, oder nur sehr wenig Luft über einer Flüssigkeit steht, ist daher auch nur eine geringe Erwärmung, oft schon die Wärme der bloßen Hand, hinreichend, das Sieden zu bewirken. Ein Versuch mit dem *Pulshammer* oder der *Frankliniſchen Röhre* zeigt dieses deutlich. Dieses Instrument besteht aus zwei gläsernen Kugeln, die durch eine gläserne Röhre mit einander verbunden sind (Fig. 138), und deren innerer luftleerer Raum etwas Wasser oder Weingeist enthält. Läßt man die Flüssigkeit in eine der Kugeln laufen, und hält diese in die hohle Hand, so fließt sie in die andere Kugel hinüber und fängt zu sieden an. *Wollaſton* benutzte dieses Instrument auch, um zu zeigen, wie bei'm Verdampfen der Flüssigkeiten Kälte entsteht, weßhalb es auch *Eisträger* (*Kryophorus*) genannt wird. Läßt man nämlich das in dem Pulshammer enthaltene Wasser in die eine Kugel gehen, während man die leere Kugel in eine Kälte erregende Mischung einhüllt, und steckt dann die Kugel, in welcher das Wasser ist, in ein leeres Glas, das man zur Abhaltung der äußern Wärme mit Papier bedeckt, so bilden sich Dämpfe. Diese gehen in die leere Kugel, wo sie zu Wasser verdichtet werden, während in der andern Kugel das rückständige Wasser gefriert. Setzt man etwas mäßig erwärmtes Wasser unter einen Recipienten der Luftpumpe und verdünnt die Luft, die darüber steht, so fängt das Wasser bald zu sieden an. Nimmt man Aether oder

Fig. 138.



Digitized by Google

Weingeist zu diesem Versuche, so erfolgt das Sieden noch schneller. Auf hohen Bergen, wo der Luftdruck geringer und der Barometerstand niedriger als in ebenen und tief liegenden Gegenden ist, muß demnach eine Flüssigkeit schneller sieden, daher auch eine Speise länger kochen, um erweicht zu werden. Auch dieses ist durch viele Versuche erwiesen. Auf dem Gipfel des Canigou in den Pyrenäen, wo das Barometer um 8 Zoll niedriger stand, als zu Perpignan, fand Lemounier den Siedepunkt des Wassers um 9 Réaumür'sche Grad tiefer, als er für dasselbe Queckſilberthermometer zu Perpignan gewesen war. Auf dem Pic de Midi war dieser Siedepunkt um 18 Fahrenheit'sche Grad tiefer als in der Stadt Bagneres. Sauſſüre fand, daß auf dem Montblanc das Wasser schon mit 180 Grad nach Fahrenheit siede, folglich den Siedepunkt in dieser Höhe um 32 Fahrenheit'sche Grade tiefer liegend, als am Fuße derselben. Auch De Lüc hat über diesen Gegenstand sehr viele Beobachtungen angestellt, und sich besonders bemüht, das Gesetz über Zu- und Abnahme des Siedepunkts des Wassers im Verhältniß zum Barometerstand mit der ihm eigenen Sorgfalt zu bestimmen. Das Ergebniß seiner Untersuchungen zeigte, daß für ein Queckſilberthermometer, dessen Fundamentalabstand bei einer Barometerhöhe von 27 Pariser Zoll bestimmt worden ist, der Siedepunkt des Wassers um 1,9 Fahrenheit'sche oder $1^1/_{18}$ Centesimal- oder etwas über $^5/_6$ (eigentlich $^{38}/_{45}$) Réaumür'sche Grad verändert werde, wenn die Barometerhöhe um einen Zoll sich verändert.

Ist demnach bei einem Queckſilberthermometer der Siedepunkt des Wassers auf 212 Grad nach Fahrenheit gewesen, als das Barometer auf 27 Pariser Zoll stand, so wird er, wenn das Barometer auf 28 Zoll steht, auf 213,9 dieser Grade rücken, und für 26 Zoll Barometerhöhe schon bei 210,1 dieser Grade eintreten. Zeigte das Barometer auf einem Berge nur 22 Zoll Höhe, so müßte daselbst das Wasser schon mit $202^1/_2$ dieser Thermometergrade sieden. Auch für den Fall, wo der Fundamentalabstand bei einem andern Barometerstand bestimmt worden ist, hat De Lüc das Verhältniß des Siedepunkts zu der jedesmaligen Barometerhöhe zu bestimmen gesucht. Sehr niedrige Barometerstände, wie im luftverdünnten Raume einer Luftpumpe, entsprechen jedoch nicht mehr den De Lüc'schen Bestimmungen. So sollte z. B. nach diesen Bestimmungen für ein Thermometer, das bei einem Barometerstand von 28 Pariser Zoll verfertigt worden ist, das Wasser schon bei 51 Grad nach Réaumür sieden, wenn die Barometerhöhe 7 Zoll beträgt, allein es siedet erst, nach den Versuchen, die Gren mit der Luftpumpe anstellte, bei 54 dieser Grade. Noch größer ist die Abweichung für noch niedrigere Barometerstände.

§ 179. (Graduirung übereinstimmender Thermometer.) Thermometer, die nicht bei einerlei Barometerstand graduirt worden sind, können also auf keinen Fall übereinstimmen. Um wenigstens den Grund einer zweideutigen Anzeige jedesmal erkennen und nöthigenfalls berichtigen zu können, sollte daher jedem Thermometer die Angabe des Barometerstands zur Zeit seiner Verfertigung beigefügt seyn. Hätte z. B. Jemand hier, in Frankfurt, Ende December 1821, oder im Anfang Januar 1822, wo der Barometerstand häufig unter 26 Pariser Zoll war, ein Thermometer sich verfertigen lassen, dessen Fundamentalabstand und Graduirung in dieser Beziehung genau bestimmt, aber doch, wie bei jedem andern Thermometer, in 80 Réaumür'sche Grade eingetheilt worden wäre, so müßte mit diesem Thermo-

Digitized by Google

meter jede beobachtete Wärme um einen oder mehrere Grad zu groß ausfallen, gegen ein anderes ähnliches Thermometer, das hier, bei einem Barometerstand von 27 Zoll, auf solche 80 Grade graduirt worden ist. Er dürfte sich daher nicht darüber verwundern, wenn zwischen seinem und diesem Thermometer nie eine Uebereinstimmung stattfinden will.

Ist ein Queckſilberthermometer bei einem Barometerstand von 28 Pariser Zoll graduirt, und dessen Fundamentalabstand in 80 Réaumür'sche Grade eingetheilt worden, so fällt, nach Betancourt's und Gren's Versuchen, der Siedepunkt bei verändertem Barometerstand auf folgende Grade dieses Thermometers, nämlich:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bei einem | Barometerstand | von | | 0 | Pariser | Zoll | fällt | er | auf | 0 | Grad |
| " | " | " | " | 0,15 | " | " | " | " | " | 10 | " |
| " | " | " | " | 0,65 | " | " | " | " | " | 20 | " |
| " | " | " | " | 1,52 | " | " | " | " | " | 30 | " |
| " | " | " | " | 2,92 | " | " | " | " | " | 40 | " |
| " | " | " | " | 5,35 | " | " | " | " | " | 50 | " |
| " | " | " | " | 9,95 | " | " | " | " | " | 60 | " |
| " | " | " | " | 16,90 | " | " | " | " | " | 70 | " |
| " | " | " | " | 28,00 | " | " | " | " | " | 80 | " |

Eine leichte Regel zur Uebereinstimmung der Thermometer, die bei verschiedenem Barometerstand graduirt worden sind, ist folgende: Jede Veränderung des Barometerstandes um einen Pariser Zoll verändert den Siedepunkt der achtzigtheiligen Skale um $^4/_5$ Grad, wenn man die Barometerhöhe von 28 Pariser Zoll als Grundlage annimmt. Ist nun ein Thermometer bei einer Barometerhöhe von 27 Zoll graduirt worden, so muß der Siedepunkt, damit es mit einem andern, das für 28 Zoll Barometerhöhe graduirt worden ist, übereinstimme, um $^4/_5$ Grad höher gelegt, werden, als er in der Wirklichkeit sich zeigte. Bei 26 Zoll Barometerhöhe müßte man ihn um $1^3/_5$ Grad höher legen. Wäre aber die Barometerhöhe 29 Zoll gewesen, so müßte der Siedepunkt um $^4/_5$ Grad tiefer, als er stattfand, gelegt werden.

Da man mittelst eines Thermometers, dessen Fundamentalabstand genau und sorgfältig bestimmt worden ist, aus dem Sieden des Wassers einen Schluß auf die Barometerhöhe machen kann, wenn man eine Tabelle, wie die mitgetheilte, nur vollständiger, besitzt, so läßt sich hieraus die Möglichkeit, Berge mit dem Thermometer zu messen, abnehmen. Fing z. B. das Wasser mit 70 Grad zu sieden an, so müßte die Barometerhöhe 16,90 Pariser Zoll seyn, und hieraus ließ sich dann die Berghöhe berechnen (§ 127).

Ist man auf eine Höhe gekommen, auf welcher das Wasser bei einer Temperatur $= t$ Cent. Graden siedet, so gibt für diese Höhe folgende Formel den Barometerstand $= x$ in einem Meterbruch, nämlich:

$$\log. x = \frac{23.945371 \times t}{800 + 3t} - 2.2960383.$$

Beispiel. Sey $t = 90^0$ C., so ist

$$\log. x = \frac{2155.083390}{1070} - 2.2960383.$$

$$= 2.0140966 - 2.2960383.$$

also $\log. x = - 0.2819417$

$$\text{daher } x = \frac{1}{1.914} = \frac{1000}{1914} = 0.52246 \text{ Meter.}$$

Digitized by Google

Rechnet man 1 Meter = 443.296 franz. Linien, so ist x = 19.3004 franz. Zoll. Kennt man noch den untern Barometerstand, so kann man nach der angegebenen Formel (§ 127) die Berghöhe, mit Beachtung der erforderlichen Correctionen nach Meter oder Fuß daraus berechnen.

Wollaston hat zu diesen Messungen ein eignes, sehr großes Thermometer angegeben, bei welchem jeder Grad fast 4 englische Zoll betrug, um noch sehr kleine Theile eines Grades bemerklich zu machen, und auch eigne Tabellen dazu berechnet. Wirklich vorgenommene Höhenbestimmungen wichen jedoch bald mehr, bald weniger von den barometrischen ab. Indessen hat man bis jetzt von der thermometrischen Höhenmessung noch wenig Gebrauch gemacht, da die Verfertigung der dazu tauglichen Thermometer, so wie das Kochen des Wassers auf den Höhen mit besondern Schwierigkeiten verbunden ist, ohne daß die Correctionen zu vermeiden sind, die auch bei barometrischen Messungen erfordert werden.

§ 180. (Wärme und Expansivkraft des Dampfes.) Der Uebergang des Wassers in Dampf ist mit einer so ungeheuren Raumvergrößerung verbunden, daß ein Kubikzoll Wasser zu einem Kubikfuß Dampf sich ausdehnt, folglich fast 1728mal mehr Raum einnimmt. Da man beobachtet hat, daß es unter unveränderter Wärme $5^2/_5$mal so lang dauert, um eine gewisse Menge Wasser in Dampf zu verwandeln, als es dauerte, bis sie siedend ward, so schloß man daraus, so wie auch aus andern noch genauern Versuchen, daß der Dampf, der mit dem siedenden Wasser gleiche Temperatur hat, doch $5^2/_5$mal mehr Wärme, als dieses binden müsse, weil man annahm, daß in $5^2/_5$mal so viel Zeit, auch $5^2/_5$mal mehr Wärme latent werden müßte. Ein Pfund Wasser von 100 Graden braucht daher, um in ein Pfund Dampf verwandelt zu werden, $5^2/_5$mal so viel Wärme, als es bedarf, um seine Temperatur von Null bis 100° zu erhöhen. Die Wärmemenge, die von 1 Pfund Wasserdampf von 100° C. frei wird, ist demnach so groß, daß sie 1 Pfund Wasser um 540° C. oder 432° R. erwärmen würde, oder, was dasselbe ist, 1 Pfund Wasserdampf von 100° C. erwärmt 540 Pfund Wasser um 1° C. und bei 80° R. 432 Pfund Wasser um 1° R. hieraus ergibt sich ferner, daß Wasserdampf, dessen freie Wärme 100° C. ist, 540° C. Wärme bindet, so wie für 80° R. er 432° R. bindet. Mit der Aenderung seiner Temperatur, d. i. seiner freien Wärme, ändert sich nothwendig auch seine gebundene Wärme, jedoch allemal so, daß seine freie und gebundene Wärme zusammen 640° C. oder 512° R. beträgt. Ist seine freie Wärme Null, so ist seine gebundene = 640° C. oder 512° R.; ist sie 50° C., so ist die gebundene = 590° C.; ist sie 50° R., so bindet er 462° R. u. s. w. Wie der Wasserdampf haben auch die Dämpfe anderer Flüssigkeiten ihre gebundene Wärme, alle jedoch eine geringere Menge als der Wasserdampf, allein die Summe der freien und gebundenen Wärme, ist sich auch bei ihnen stets gleich. So beträgt z. B. die gebundene Wärme bei dem Siedepunkte für Alkohol 214; für Schwefeläther 90; für Terpentinöl 74° C.

Da der aus siedendem Wasser sich entwickelnde Dampf nicht nur latente Wärme, sondern auch von seiner freien Wärme dem kältern Wasser, mit dem er in Berührung kommt, so viel Wärme mittheilt, als dieses unter 100° C. ist, so kann man hiernach die Dampfmenge berechnen, welche erforderlich ist, um eine bestimmte Menge Wasser von einer gewissen Temperatur auf eine höhere zu bringen. Wäre die Wassermenge = m Pfund, dessen Temperatur = t° C., welche auf T° erhöhet werden soll, so sey die dazu erforderliche Dampfmenge = x Pfund. Da diese x Pfund

Digitized by Google

640 x° Wärme enthalten, von welchen sie T° dem Wasser abgeben, so verliert der Dampf T x°, und es bleiben ihm noch 640 x — Tx = (640 — T) x. Die m Pfund Wasser, die erst tm° Wärme hatten, haben jetzt Tm°, folglich haben sie gewonnen Tm — tm = (T — t) m°, und da Gewinn und Verlust sich gleich seyn muß, so ist auch

$$(640 - T)\,x = (T - t)\,m;\quad \text{also } x = \frac{(T - t)\,m}{640 - T}$$

Beispiele. 1) Sey m = 20 Pfund; t = 10°; T = 40°, so ist x = 1 Pfund, d. h. mit 1 Pfund Dampf kann man 20 Pfund Wasser von 10° auf 40° erwärmen.

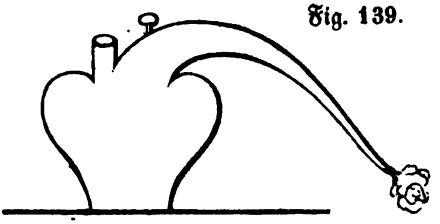
2) Sey m = 100 Pfund; t = o; T = 100°; so ist x = 18,5 Pfund.

Da nun um 1 Pfund Eis zu schmelzen so viel Wärme erfordert wird, als man braucht um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 63,4° R., oder 79, 25° C. zu erhöhen (§ 175), so ist die Wärmemenge, welche bei dem Uebergang des Wassers in Dampf gebunden wird 540 : 79,25 = $6^4/_5$mal größer, als diejenige, welche bei dem Schmelzen des Eises latent wird.

Wenn daher Wasser in einem Gefäße kocht, das von allen Seiten her so vollkommen gesperrt ist, daß kein Dampf daraus entweichen kann, so muß unter fortwährendem Kochen mit der zunehmenden Hitze auch die Expansivkraft des Dampfes in sehr hohem Grade verstärkt werden.

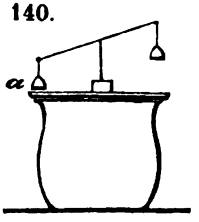
Hieraus läßt sich die ungeheure Gewalt begreifen, die gesperrter Wasserdampf auszuüben vermag. Schon an den sogenannten Knallkügelchen kann man diese Gewalt wahrnehmen. Wird ein solches Kügelchen, in welches man einige Tropfen Wasser oder Weingeist gefüllt und dann zugeschmolzen hat, in ein Licht gesteckt, so wird es durch die sich bildenden Dämpfe mit starkem Knalle, und nicht ohne Gefahr für die Augen, zersprengt. Füllt man ein kupfernes Gefäß, das eine schnabelförmige Röhre mit einer engen Mündung hat, und das man eine Aeolipila oder Dampfkugel nennt (Fig. 139), mit Wasser, und läßt dieses darin kochen, so strömen durch die enge Mündung der Röhre die Dämpfe mit solcher Gewalt heraus, daß sie ein leichtes Rad in Bewegung zu setzen vermögen.

Fig. 139.



Noch größer sieht man die Gewalt der Dämpfe an dem Papinianischen Topfe oder Digestor (Fig. 140). Dieser nach seinem Erfinder Dionysius Papin, benannte Topf, besteht aus starkem Kupfer und ist mit einem starken Deckel, den man darauf fest schrauben kann, versehen. In diesem Topfe, aus welchem nirgends Dämpfe entweichen können, kann man Knochen, zur Bereitung von Bouillontafeln, und sonstige harte Körper breiweich kochen. Die Gewalt der Dämpfe kann aber endlich so darin zunehmen, daß der Topf Gefahr läuft, auseinander gesprengt zu werden. Dieses zu verhüten, ist der Deckel mit einem Sicherheitsventil s versehen, welches von der Expansivkraft der Dämpfe, wenn sie zu groß geworden ist, geöffnet wird. Ist dann

Fig. 140.




Digitized by Google

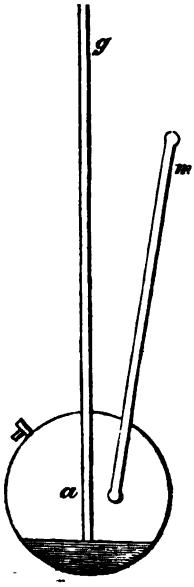
eine gehörige Menge Dampf durch die Ventilöffnung entwichen, so fällt das Ventil von selbst wieder zu.

Man benutzt auch die Expansivkraft der Dämpfe des kochenden Wassers, um die großen Pumpenwerke in Salzsiedereien und Bergwerken und andere Maschinen dadurch in Bewegung zu setzen, Schiffe und Wagen damit fortzutreiben. Eine zu solchem Gebrauch eingerichtete Maschine, welche man Dampfmaschine nennt, ist vorzüglich geeignet, die gewaltige Wirkung gesperrter Dämpfe im Großen zu zeigen. Eine einzige, gut eingerichtete Dampfmaschine vermag oft mehr als dreißig, vierzig und noch mehr starke Pferde zu leisten.

Wie gering ist aber dennoch auch diese Wirkung gegen die unvergleichbar größere, welche die Natur in ihren Werkstätten darstellt! Wie erbebt die Erde, mit welcher Leichtigkeit stürzen Gebäude und Berge zusammen, werden ungeheure Felsmassen himmelhoch emporgerissen, wenn unterirdische Dämpfe mit der unwiderstehlichen Gewalt ihrer Expansivkraft den Boden lüften, der sie gesperrt hält, und oft weithin Alles zertrümmern, was ihrem stürmischen Andrang einen Widerstand leistet.

Daß übrigens die Expansivkraft der Dämpfe, die aus verschiedenen Flüssigkeiten entstanden sind, auch dann nicht einerlei ist, wenn gleich die Temperatur der Dämpfe nicht von einander abweichen, kann man sich schon dadurch leicht denken, wenn man weiß, wie verschieden der Wärmegrad ist, unter dem sie bei der einen und der andern Flüssigkeit gebildet werden. So können Weingeistdämpfe, die eine gleiche Temperatur mit Wasserdämpfen haben, in demselben Raum und unter sonst gleichen Umständen, viel dichter und elastischer, als die Wasserdämpfe seyn, weil Weingeist viel früher als Wasser siedet. Das Verhältniß dieser Expansivkräfte haben viele ausgezeichnete Naturforscher durch Versuche auszumitteln und durch Rechnung näher zu bestimmen gesucht.

Fig. 141.




§ 281. (Dampfbarometer.) Die Expansivkraft der gesperrten Dämpfe wird gewöhnlich nach der Höhe einer Quecksilbersäule gemessen, welche die Dämpfe zu tragen vermögen. Viele geschickte Physiker haben sich mit diesem Gegenstand beschäftigt, und verschiedene Apparate dazu angegeben. Einer der einfachsten ist folgender: Eine hohle starke Metallkugel a (Fig. 141) ist mit Quecksilber gefüllt, und darüber mit Wasser. Durch eine starke Flamme wird nun dieses erhitzt, und durch einen seitwärts angebrachten Hahn entweicht die Luft aus dem Apparat, die von den Wasserdämpfen vertrieben wird. Hierauf wird der Hahn geschlossen, und das Quecksilber fängt in der darin stehenden langen Barometerröhre g, die eine Zollskale hat, durch die Expansivkraft der Dämpfe zu steigen an, doch erst dann, wenn diese den äußern Luftdruck überwiegt, da die Röhre g oben offen ist. Die Hitze des Dampfes wird durch das luftdicht eingebrachte, in das Wasser reichende Thermometer m gemessen. Mittelst eines solchen Apparats, dessen Einrichtung sehr vervollkommnet war, hat sich ergeben, daß die Expansivkraft der Wasserdämpfe zum Druck der Atmosphäre, bei einem Barometerstand von etwa 28 Pariser Zoll, folgendes Verhältniß habe:

Digitized by Google

| Temperatur-Grade nach Fahrenheit. | Druck. |
|---|---|
| 50 | 0,006 |
| 60 | 0,011 |
| 70 | 0,017 |
| 80 | 0,027 |
| 90 | 0,040 |
| 100 | 0,054 |
| 110 | 0,075 |
| 120 | 0,099 |
| 130 | 0,130 |
| 140 | 0,172 |
| 150 | 0,225 |
| 160 | 0,287 |
| 170 | 0,371 |
| 180 | 0,465 |
| 182 | 0,500 |
| 190 | 0,601 |
| 200 | 0,760 |
| 212 | 1,000 |
| 221 | 1,22 |
| 230 | 1,48 |
| 239 | 1,80 |
| 245 | 2,00 |
| 250 | 2,50 |
| 261 | 2,75 |
| 268 | 3,00 |
| 275 | 3,35 |
| 279 | 3,50. |

Mit Hülfe einer solchen noch weiter gehenden Tabelle, deren es auch für Reaumür'sche und Centesimalgrade gibt, läßt sich nun der Druck des Wasserdampfes auf jede beliebige Fläche nach Gewichten angeben, den Druck der Atmosphäre auf einen Pariser Quadratzoll zu 15 ℔ angenommen (§ 108). So ist er z. B. auf einen solchen Zoll bei einer Temperatur von 50° F. oder 8° R. = 15 × 0,006 = 0,090 ℔. Da aber der äußere Luftdruck 15 ℔ beträgt, so hebt der innere Dampfdruck nur 0,090 ℔ davon auf, so daß der Luftdruck auf einen Quadratzoll nur noch 14,91 ℔ ist. Auf dem Siedepunkt ist er = 1, d. h. gleich dem Luftdruck, beide heben sich hier einander auf. Bei der Temperatur von 279° F. oder etwa 110° R. ist er gleich $3^1/_2$ Atmosphären = 3,5 × 15 = 52,5 ℔. Zieht man hiervon den äußern Luftdruck = 15 ℔ ab, da dieser Druck von dem innern Druck so viel aufhebt, so bleiben für diesen noch 37,5 ℔ übrig. Ein Gefäß, dessen ganze Oberfläche 300 Quadratzoll betrage, hätte demnach bei dieser Temperatur einen Druck von 300 × 37,5 = 11250 ℔ auszuhalten. Bei 312° F. oder etwa 125° R., wo der Druck des Dampfes in dem Gefäße schon auf $5^1/_2$ Atmosphären anwächst, würde dieses Gefäß einen Druck von 20250 ℔ auszuhalten haben.

Daß übrigens die Zunahme im Druck des Dampfes kein Verhältniß zu der Zunahme der Hitze hat, läßt sich daran erkennen, daß er z. B., um seinen Druck um 0,494 zu vergrößern, seine Temperatur von 50° auf

Digitized by Google

182° steigern muß, während er von einer halben auf eine ganze Atmosphäre schon durch einen Zuwachs von 30° gelangt, und noch 33° weiter schon zwei Atmosphären erreicht.

Nach den Versuchen von Arago und Dulong beträgt der Druck des Wasserdampfs in Atmosphären für:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100° C. | 1 | 166,5° C. | 7 | 193,7° C. | 13 | 212,1° C. | 19 | 226,3° C. | 25 |
| 121,4 | 2 | 172,1 | 8 | 197,2 | 14 | 214,7 | 20 | 236,2 | 30 |
| 135,1 | 3 | 177,1 | 9 | 200,5 | 15 | 217,2 | 21 | 244,8 | 35 |
| 145,4 | 4 | 181,6 | 10 | 203,6 | 16 | 219,6 | 22 | 252,5 | 40 |
| 153,1 | 5 | 186 | 11 | 206,6 | 17 | 221,9 | 23 | 259,5 | 45 |
| 160,2 | 6 | 190 | 12 | 209,4 | 18 | 224,2 | 24 | 265,9 | 50. |

Viele ausgezeichnete Physiker haben sich zwar mit dem so wichtig gewordenen Gegenstand beschäftiget die Elastizität des Wasserdampfs für verschiedene Temperaturen durch Versuche zu ermitteln, und einen allgemein giltigen Ausdruck dafür aufzufinden, allein bis jetzt ist dieses Problem noch keineswegs vollständig gelöst. Eine einfache, ziemlich genaue, Formel hat Strehlke angegeben. Bedeutet t die Temperatur des Wasserdampfs in Réaum. Graden, und e den Dampfdruck in Pariser Linien, so ist nach der von ihm berechneten Formel:

$$\log. e = 0{,}3506356 + \frac{t}{1 + 0{,}00529709 . t} \times 0{,}03868508.$$

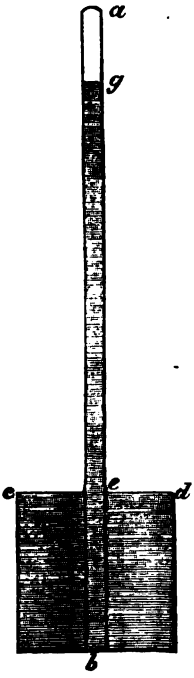
Sey t = 265,9° C. = 213° R., so ist log. e = 4,2191436 = 16564 Pariser Linien : 336 = 49,3 Atmosphären.

§ 182. (Dichtigkeit der Dämpfe.) Im Allgemeinen läßt sich behaupten, daß der Dampf einer jeden Flüssigkeit eine Dichtigkeit erreichen kann, die für eine bestimmte Temperatur die größte ist, die er anzunehmen vermag, und über welche er, so lange die Temperatur dieselbe bleibt, nicht hinaus gehen kann. Mit diesem Maximum der Dichtigkeit, wie man es nennt, hat demnach die Verdampfung ihre Gränze erreicht, und steht nun, wenn die Temperatur keine Veränderung erleidet, gänzlich still, dauert aber dagegen so lange ununterbrochen fort, bis dieses Maximum da ist. So behauptet Dalton, der zuerst diesen Begriff aussprach, daß Wasser, welches in einem gesperrten und mit atmosphärischer Luft erfüllten Raum bei einer Temperatur von 40 Grad Réaumür verdunstet, das Maximum seiner Dichtigkeit erreicht habe, wenn die Expansivkraft der eingeschlossenen Luft um $3^1/_2$ englische Zoll sich vergrößert hat. Weingeist, der schon bei 64 Grad siede, also 16 Grad weniger zum Sieden gebraucht, als Wasser, brauche auch unter gleichen Umständen nur bei einer Temperatur von 24 Grad zu verdunsten, um an Expansivkraft dem Wasserdunst von 40 Grad gleich zu seyn, und dieses Verhältniß bleibe durch den ganzen Fundamentalabstand unverändert dasselbe, so daß der Weingeistdunst immer eine um 16 Grad niedrigere Temperatur erfordere, um mit dem Wasserdunst, unter sonst gleichen Umständen, einerlei Expansivkraft zu haben. Dalton behauptet, daß dieses Gesetz allgemein für jede Dunstart gelte, der Siedepunkt der Flüssigkeit, aus welcher sie entstehe, möge unter oder über dem Siedepunkt des Wassers liegen; nur müsse man im letztern Falle immer so viele Grade zu der Verdunstungstemperatur des Wassers addiren, als der Siedepunkt der Flüssigkeiten höher als der des Wassers läge, im ersten Falle aber abziehen, um die von ihm angegebene Tabelle über die größte Expansivkraft des Wasserdunstes unter verschiedenen Temperaturen auch auf jede andere Flüssigkeit zu übertragen. Zu den Versuchen, aus welchen Dalton dieses Gesetz entdeckt zu haben glaubte,

Digitized by Google

gehört unter andern auch folgender, der sich darauf gründet, daß wir dem Luftdruck allein das Daseyn der tropfbaren Flüssigkeiten verdanken, indem ohne diesen Druck jede Flüssigkeit sogleich verdampft, so wie ihre Temperatur über den Gefrierpunkt hinaus geht. Bringt man nun, unter gewissen Handgriffen, in die Toricellische Röhre (Fig. 91) bei b einige Wassertropfen, oder Tropfen einer andern Flüssigkeit, hinein, so steigen diese über das Queckfilber in die Toricellische Leere hinauf, und fangen dann in dem luftleeren Raum ag zu verdunsten an, und zwar um so stärker, je höher die Temperatur dieses Raumes ist. Die entstehenden Dünste drücken alsdann, vermöge ihrer Expansivkraft, von oben her auf das Queckfilber, wodurch dieses fallen muß. Um wie viel Zoll nun dieses gefallen ist, so viel beträgt demnach die Expansivkraft des Dunstes bei dieser Temperatur, und so fand Dalton, daß bei jeder Temperatur ein Maximum der Expansivkraft eintrete, und daß mit der Erreichung dieses Maximums der übrige Theil der Flüssigkeit in der Toricellischen Leere nicht weiter verdunste, auch die Queckfilbersäule nicht tiefer falle.

Fig. 91.




So sinnreich aber auch die Versuche sind, die Dalton zur Begründung seiner Gesetze angestellt hat, und so sehr sich auch diese durch Einfachheit und fruchtbare Anwendung empfehlen, so haben doch die Versuche vieler anderer Naturforscher die allgemeine Richtigkeit dieser Gesetze sehr zweifelhaft gemacht, was besonders von zwei der denkendsten und geschicktesten deutschen Physiker, Mayer in Göttingen und Schmidt in Gießen, geschehen ist. Im Allgemeinen haben jedoch diese Versuche das unbestreitbare Verdienst, daß durch sie die Betrachtungen über die Verdunstung eine festere Grundlage und richtigere Ansicht erhalten haben.

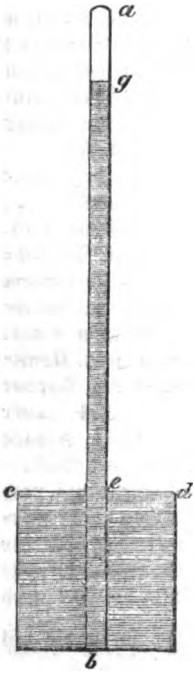
Da eine sehr kleine Menge Flüssigkeit schon eine beträchtliche Menge Dampf gibt, so muß ein gewisses Volumen Dampf auch viel leichter seyn, als ein eben solches Volumen der Flüssigkeit, aus der er entstanden ist. Was insbesondere den Wasserdampf betrifft, so haben sorgfältige Versuche und Rechnungen gezeigt, daß 1000 Kubik-Centimeter desselben, bei einem Barometerstand von 0,76 Meter oder 28 Zoll und einer Linie altfranzösischen Maßes, in der Temperatur der Siedhitze $^{1000}/_{1696}$ Gramm wiege. Da nun 1 Pariser Kubikfuß 1728 Kubikzoll, $^{1}/_{20}$ Kub. Z. 1 Kub. Centimeter, und 1 Gramm $18^{5}/_{6}$ Pariser Grains hat, so wiegt ein Pariser Kubikfuß Wasserdampf von der angegebenen Beschaffenheit 384 dieser Grains, oder nach bereits angegebenen Verhältnissen (§ 126) beinahe $12/_{5}$ Frankfurter Loth. Demnach ist unter diesen Umständen der Wasserdampf mehr als 1680 mal so leicht als das Wasser, und mehr als noch einmal so leicht als die atmosphärische Luft. Nach Gay-Lussac Versuchen ist überhaupt die Dichte des Wasserdampfs immer $^{5}/_{8}$ von der Dichtigkeit der Luft bei gleichem Barometerstand (gleicher Expansivkraft) und gleicher Temperatur. Da nun die Dichte der Luft bei $0^{0}$ und 336 Linien Barometerstand $\frac{1}{770}$ des Wassers ist (§ 126), so ist die des

Digitized by Google

Dampfes $= \frac{1}{1232}$. Für 100° und 336 Linien Barometerstand ist die Dichte der Luft $\frac{1}{770} \times \frac{1}{1,366}$ (§ 155. III.) $= \frac{100}{105182}$, also die des Dampfes $= \frac{500}{841456}$ d. h. 500 Kubikfuß Wasser geben 841456 Kubikfuß Dampf von 100°, oder 1 Kubikfuß Wasser gibt 1683 Kubikfuß Dampf von 100° C. Steigt nun die Temperatur auf 121° C. und die Expansivkraft auf 2 Atmosphären = 672 Linien (§ 181), wo die Luftdichte nach dem Mariottischen Gesetz (§ 118. II.) und vermöge der Temperatur nur noch 0,001801 ist, so hat der Dampf auch nur 0,001125 Dichte, d. h. 1125 Kubikfuß Wasser geben 1000000 Kubikfuß Dampf, oder 1 Kubikfuß Wasser gibt 889 Kubikfuß Dampf von 121° C. Für beide Temperaturen, für 100° und 121°, kann aber die Wärmemenge an sich dieselbe geblieben seyn. Hieraus folgt, daß zur Verwandlung eines Kubikfuß Wasser in Dampf von 121° oder noch höher nicht mehr Wärme erforderlich ist, als für den Dampf von 100°, wie auch Versuche es dargethan haben. Die Dichte der Dämpfe nimmt aber mit deren Expansivkraft zu, jedoch in einem etwas geringern Verhältniß.

Zudem, daß die Dämpfe eine größere Expansivkraft als Luft haben, und auch viel leichter als diese sind, findet auch zwischen luft- und dampfförmigen Körpern noch ein Unterschied statt, der, wenigstens so weit unsere Erfahrungen reichen, von Erheblichkeit ist. Dieser Unterschied besteht einestheils in der verschiedenen Wirkung, welche der Druck, anderntheils in dem verschiedenen Einfluß, welchen die Wärme auf eine Luft- und Dunstmasse hat.

Fig. 91.




So weit nämlich unsere Erfahrungen reichen, läßt sich eine Luftmasse nicht nur zu jedem Grad der Verdünnung bringen, sondern auch, so weit es nur mit den uns zu Gebote stehenden Hülfsmitteln möglich ist, fortwährend verdichten, ohne jemals tropfbar zu werden (§ 107). Darum eben nennt man die Luftarten permanent (beständig) elastische Körper. Bei einer Dunstmasse hingegen ist dieses nicht so. Diese läßt sich zwar durch verminderten Druck ebenfalls auf jeden Grad der Verdünnung bringen, hält aber eine Verdichtung nur so lange aus, bis dieselbe für die stattfindende Temperatur ihr Maximum erreicht hat. Ist sie bis zu dieser Gränze gekommen, so wird sie durch die geringste Vergrößerung des Druckes wieder in den tropfbaren Zustand versetzt. Sind Dalton's Versuche zuverlässig, so kann eine Wasser-Dunstmasse von 40 Grad R. Wärme eine Expansivkraft von $3^1/_2$ Englische Zoll erreichen. Alsdann ist sie aber auch im Maximum ihrer Dichtigkeit. Wollte man sie bei dieser Temperatur noch mehr verdichten, so wird sie sogleich wieder tropfbar werden. Will man sich hiervon durch einen Versuch überzeugen, so tauche man die Toricelli'sche Röhre (Fig. 91), in deren Leere eine Flüssigkeit verdunstet, und deren Dunst für die stattfindende Temperatur das Maximum seiner Dichtigkeit

Digitized by Google

erreicht hat, in ein hohes Gefäß mit Queckſilber. Je tiefer die Röhre in das Gefäß hinein kommt, deſto höher ſteigt das Queckſilber in die Toricelliſche Leere hinauf, bis es ſie endlich ganz ausfüllt. Dieß beweiſ't daß der Dunſt, der durch die aufſteigende Queckſilberſäule zuſammengedrückt worden iſt, ſeine Expanſivkraft verloren hat, und wieder tropfbar geworden ſeyn muß, weil er ſonſt das Queckſilber zurückgedrückt hätte, wie dieſes mit einem Stempel, den man in einen von unten geſchloſſenen Stiefel hineindrückt, und bei allen andern Erſcheinungen der Fall iſt, wo Luft zuſammen gedrückt wird, die nicht entweichen kann (§ 107).

So wie mit dem Druck, iſt es auch mit dem Einfluß der Wärme beſchaffen. Wie hoch oder niedrig auch die Temperatur einer eingeſperrten Luftmaſſe werden mag, ſo wird zwar ihre Expanſivkraft dadurch im erſten Fall vergrößert, im andern Fall vermindert, allein eine Gränze, wo ſie anfing, tropfbar zu werden, iſt weder in dem einen, noch andern Fall zu erreichen. Eine Dunſtmaſſe hingegen, welche für eine ſtattfindende Temperatur im Maximum ihrer Dichtigkeit iſt, nimmt zwar auch mit Erhöhung der Temperatur eine größere Expanſivkraft an, wird aber bei Verminderung der Temperatur ganz oder zum Theil wieder tropfbar. Hätte z. B. eine Maſſe Waſſerdunſt bei einer Temperatur von 40 Grad R. ihre größte Expanſivkraft erreicht, ſo müßte, wenn die Dunſtmaſſe zu einer Temperatur von 32 Grad gelangte, wo ſie eine geringere Expanſivkraft hat, ein Theil derſelben wieder tropfbar werden. Man ſieht indeſſen bald ein, daß eine geſperrte Dunſtmaſſe auf dem Wege der Temperaturerniedrigung nie völlig tropfbar werden kann, weil immer ſo viel Rückſtand bleiben muß, als das Maximum für dieſe Temperatur beträgt.

Geht die Verdunſtung in der freien Luft vor ſich, ſo erfolgt ſie durch den Widerſtand des Luftdrucks nicht nur langſamer, als im luftleeren Raume, ſondern ſie wird auch hier zu einem Maximum gelangen, welches von der Temperatur abhängig iſt. Je wärmer es iſt, deſto größer iſt die Expanſivkraft des Dunſtes, deſto ſchneller kann demnach die Verdunſtung erfolgen. Da nun die Temperatur nicht überall auf der Erde, ſelbſt nicht an einerlei Ort, zu allen Zeiten gleich iſt, ſo kann auch die Atmoſphäre weder in allen Erdgegenden, noch auch an einerlei Ort zu jeder Zeit mit einer gleich großen Menge Dünſte beladen ſeyn.

Außer durch die Temperatur wird auch die Verdunſtung, die überhaupt nur an der Oberfläche der Flüſſigkeiten ſtattfindet durch Vergrößerung der Oberfläche und durch Luftzug vergrößert, durch das Gegentheil verkleinert. Im Luftzug, oder im Winde, trocknet jeder Körper ſchneller, das Blaſen kühlt die Speiſen ab, durch einen benetzten Finger, den man in die Luft empor ſtreckt, kann man die Richtung des Windes erkennen, weil er an der Seite, von woher der Wind kommt, ſchneller trocknet. Heiße Speiſen, die man aus einem kleinern in ein größeres Gefäß bringt, kühlen ſich, durch Vergrößerung der Oberfläche und durch die Bewegung der Luft, die dabei ſtattfindet, ſchneller ab.

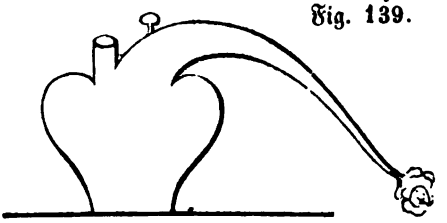
§ 183. (Condenſation der Dämpfe.) Wird Dunſt durch Druck oder erniedrigte Temperatur ſeiner Expanſivkraft beraubt, und in den tropfbaren Zuſtand zurückgeführt, was man ſeine Zerſetzung, Reducirung oder Condenſation nennt, ſo erſcheint er zuerſt in Geſtalt kleiner Dampfbläschen, die, Nebel und Wolken bildend, erſt die Durchſichtigkeit der Luft vermindern, und wenn die Luft davon überladen iſt, zuſammenfließen, und Thau und Regen geben. Eben hierin liegt eigentlich auch der Unter-



Digitized by Google

schied zwischen Dunst und Dampf. Jener ist unsichtbar, dieser sichtbar. Einen Versuch hierüber kann man mit der Dampfkugel (Fig. 139) anstellen. Leitet man die Spitze derselben über ein Kohlenbecken, wo die Luft sehr heiß ist, so hört man die Dünste ausströmen, sieht aber nichts. Je weiter sie aus der Umgebung der heißen Luft fortströmen, desto mehr verdichten sie sich zu sichtbarem Dampf, und werden endlich wieder zu Wasser, wenn man sie gegen einen kalten Körper strömen läßt. Eben so werden auch Wasserdünste, die aus einem Gefäße gegen den kältern Deckel desselben strömen, bei dessen Berührung, der alltägigen Erfahrung gemäß, wieder tropfbar.

Fig. 139.



§ 184. (Destillirkunst.) Auf der Eigenschaft der Dämpfe, in der Kälte sich zu verdichten und wieder tropfbar zu werden, beruht auch die Destillirkunst. Diese besteht darin, daß man eine Flüssigkeit, die noch erdige Theile bei sich hat, wie z. B. Wasser, oder aus Bestandtheilen von verschiedener Flüchtigkeit zusammengesetzt ist, wie z. B. Branntwein, in einer eigenen Destillirgeräthschaft in Dämpfe verwandelt, die man in Röhren, die durch kaltes Wasser geleitet sind, in ein Gefäß, welches die Vorlage genannt wird, wieder sammelt, indem sie, durch die kalten Röhren streichend, tropfbar in die Vorlage kommen. Liqueurbereiter nennen dieses Verfahren auch das Abziehen oder Cohibiren. Auf diese Weise kann man die flüchtigern Theile einer Flüssigkeit, die sich zuerst in Dämpfe verwandeln, auch erst in die Vorlage sammeln, und die minder flüchtigen zurückhalten und absondern.

Auch für feste Körper, aus deren Vermischung man neue Stoffe bereiten will, bedient man sich oft dieser Eigenschaft der Dämpfe. Eine solche Bereitungsart wird eine Sublimation oder trockene Destilation genannt. So erhält man durch das Sublimiren harziger Hölzer und öliger Körper die Tusche und den Kienruß; des Schwefels und Arseniks das Auripigment oder Rauschgelb; des Schwefels und Queckssilbers den Zinnober; des Schwefels die Schwefelblüthe u. s. w., wenn man die Dämpfe wider kalte Wände anschlagen läßt, und dann sammelt. (II. Kapitel. Anhang.)

§ 185. (Dampfmaschine.) Wenn die großen, oft ungeheuren Wirkungen der Expansivkraft der atmosphärischen Luft oder irgend eines Gases, selbst nur wenige Kubikzoll, unser Erstaunen erregen, und zu höchst mannigfaltiger Benutzung uns zu Gebote stehen, so gilt dieses in nicht geringerm Maße auch von der Expansivkraft der Dämpfe, nachdem man die Natur derselben in neuerer Zeit gründlicher erforscht, und besser anzuwenden gelernt hat. Unter allen nimmt in dieser Hinsicht der Wasserdampf, dessen Grundstoff allenthalben in großer Menge umsonst zu haben ist, die erste Stelle ein. Schon versteht man, mittelst eigener Dampfapparate, den Wasserdampf zum Kochen und Bleichen vortheilhaft zu benutzen. Weiter, als dieses Werk es mit sich bringt, würde man in das Gebiet der Mechanik und Technologie abschweifen müssen, wollte man seine nutzvolle Anwendung für Brauereien, Siedereien, Färbereien, für Pulver-

Digitized by Google

fabriken, um durch ihn Pulver ohne Gefahr zu trocknen, und für eine Menge anderer Anstalten, im Großen wie im Kleinen, hier näher in Betrachtung ziehen. Wohin überhaupt die Kenntniß einer richtigen und weisen Benutzung des Wasserdampfs noch führen wird, welche Umwandlungen dadurch den Künsten und Fabrikanstalten, selbst der Oekonomie und den häuslichen Einrichtungen, noch bevorstehen, läßt sich gar nicht festsetzen und voraussagen. Schon der berühmte Ingenieur Vauban, der die Kunst, feste Plätze anzulegen und einzunehmen, so sehr vervollkommnet hat, machte Versuche, Wasserdämpfe zum Schießen zu benutzen. Mit zwei Kubikfuß oder 140 ℔ Wasser in Dampfgestalt konnte er eine Felsenmasse von 77000 ℔ sprengen, mit 140 ℔ Schießpulver aber nur eine Masse von 30000 ℔.

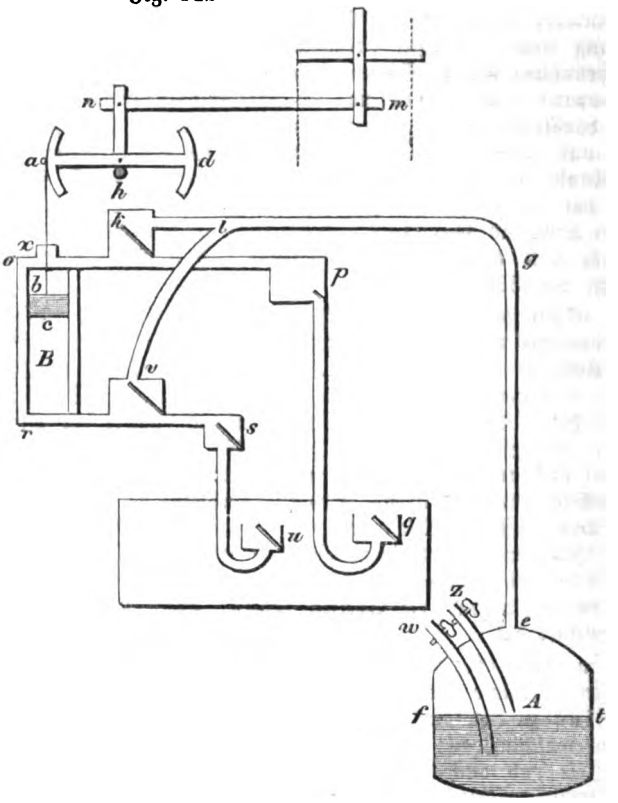
Der wichtigste und merkwürdigste Nutzen des Wasserdampfs ist aber seine Anwendung zu den Dampfmaschinen, oder Feuermaschinen, wie sie mitunter genannt werden, und die besonders in England, und jetzt auch in andern Ländern, sehr im Schwunge sind. Dampfmaschinen fördern Kohlen und Erze zu Tage, pumpen das Wasser der Steinkohlenbergwerke, die oft meilenweit unter die See sich erstrecken, mit großer Leichtigkeit aus, treiben Mahlmühlen, Papiermühlen und andere Mühlenwerke, Schiffe und Wagen, und werden überhaupt bei sehr vielen Anstalten, wo man sonst viele Menschen und Pferde nöthig hatte, auf eine sehr geschickte Weise mit ungemeinem Vortheil benutzt. Eine einzige Dampfmaschine kann oft mehreren Absichten zugleich dienen, und manchmal noch die Stuben heizen und die Speisen kochen, wenn sie ihren Hauptzweck schon verrichtet hat.

Schon 120 Jahre vor Chr. Geburt machte Heron von Alexandrien Vorschläge, Dämpfe zu Bewegungen zu benutzen, und ein Prediger Mathesius zu Joachimsthal gab, um die Mitte des 16. Jahrhunderts, eine Feuermaschine an, um ein Pumpenwerk damit zu bewegen. Um dieselbe Zeit gab auch ein Italiener, Scappi, eine ähnliche Maschine an. Späterhin beschäftigte sich De Caus, von dem es nicht ausgemacht ist, ob er ein Deutscher oder ein Franzose war, mit eben diesem Gegenstande, eben so Papin (§ 180). Die erste Dampfmaschine, aus der die heutigen nach und nach entstanden sind, hat der Engländer Thomas Savary, am Ende des siebenzehnten Jahrhunderts, angelegt. Wie mit allen neuen Erfindungen, so ging es auch hier. Die Maschine war unbeholfen, erforderte vielen Aufwand und leistete nur geringe Dienste. Allein schon 1712 brachte ein Eisenhändler, Newcomen, obgleich er weder Physik, noch Mathematik verstand, bloß durch natürliche Anlagen zur Mechanik, mit Hülfe eines Glasers, Cawley, eine sehr wirksame Dampfmaschine zu Stande, bei welcher jedoch der Druck der atmosphärischen Luft die Hauptkraft blieb. Erst um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts hat James Watt solche Dampfmaschinen erfunden, bei welchen der Dampf Alles allein thut, und die zur Erreichung großer Zwecke erst recht geeignet sind. Nach und nach wurden auch diese Maschinen noch in vielen Stücken verbessert und zweckmäßiger eingerichtet, so daß es jetzt mehrere Arten von Dampfmaschinen gibt. Einige der wesentlichsten Bestandtheile einer Dampfmaschine sind etwa folgende: (Fig. 142.)



Digitized by Google

Fig. 142.




A iſt der Dampfkeſſel, der mit Waſſer bis zu der Höhe kt, etwa zwei Drittel, angefüllt wird, und deſſen gewölbter Deckel feſt angeſchraubt iſt. B iſt der Dampfcylinder, c der dicht anſchließende Kolben, ab die Kolbenſtange, die ebenfalls dicht durch den Deckel x des Cylinders geht. Am Ende a der Kolbenſtange iſt ein Hebel ad befeſtigt, deſſen Unterlage in h iſt, und den man den Balancir nennt. Der Balancir trägt einen lothrechten Arm hn, und dieſer die Stange nm, mit welcher eine Kreuzſtange, das Kunſtkreuz, oder irgend ein Winkelhebel, verbunden iſt, deſſen horizontale Arme Stangen tragen, durch welche andere Maſchinen, Pumpenwerke, Räderwerke und dergl. in Bewegung kommen, ſo wie der Kolben in Bewegung iſt, da ſich mit dieſem auch die Kolbenſtange und Alles, was mit ihr verbunden iſt, mit bewegen muß. Damit nun der Dampf, der den Kolben bewegen ſoll, ihn auf und nieder drücken kann, hat die Maſchine folgende weſentliche Einrichtung. Aus dem Keſſel A geht eine Röhre egk, die bei k ein Ventil hat, und hier in eine andere Röhre opq greift, welche oben am Cylinder ſitzt, und in den Condenſator geht. Eine andere Röhre rsu geht unten vom Cylinder ebenfalls in den Condenſator, und ſteht durch die Röhre lv, die bei v ein Ventil hat, auch mit der Keſſelröhre egk in Verbindung. Beide Röhren, opq, und rsu, haben bei u und q Ventile, ſo auch an ihren Biegungen p und s.

Digitized by Google

Ist nun der Kolben c oben, so sind die Ventile k und s offen, die Ventile p und v geschlossen. Die Kesselröhre egk leitet daher den Dampf in die Röhre op, der nun, da er bei p nicht durch kann, den Cylinder herabdrückt. Der Dampf unter dem Cylinder entweicht durch die Röhre rs, drückt das Ventil u auf und geht in den mit kaltem Wasser angefüllten Condensator, wo er auch wieder zu Wasser wird, das dann durch eigne Vorrichtungen wieder in den Kessel kommt. So wie aber der Kolben unten ist, öffnen sich die Ventile p und v, und k und s schließen sich. Der Dampf aus der Kesselröhre egk geht daher durch die Röhre lv unter den Kolben und hebt ihn wieder in die Höhe. Der Dampf über dem Kolben entweicht jetzt durch die Röhre op, und gelangt, indem er das Ventil q aufdrückt, ebenfalls in den Condensator. Augenblicklich öffnen sich jetzt wieder die Ventile k und s, und p und v schließen sich, und durch diese Abwechslung drückt der Dampf bald über, bald unter den Kolben, und so geht dieser anhaltend auf und nieder.

Um gewiß zu seyn, daß das Wasser im Kessel immer gleiche Höhe behalte, sind die Röhren w und z dicht eingesetzt; die eine, w, die Wasserröhre, steht mit ihrer Mündung genau auf der Oberfläche des Wassers. Oeffnet man, während die Maschine im Gange ist, den Hahn dieser Röhre, so spritzt durch den Druck des Dampfes Wasser aus derselben; käme aber Dampf heraus, so läge die Oberfläche des Wassers zu tief und hätte nicht seine gehörige Höhe im Kessel. Die andere Röhre z, die Dampfröhre, streicht genau über der Oberfläche des Wassers, und muß, wenn ihr Hahn geöffnet wird, Dampf geben; gibt sie Wasser, so steht dieß zu hoch im Kessel.

Die unter einem Dampfkessel angebrachte Feuerung kann nicht so genau bemessen werden, daß nicht die Expansivkraft des Dampfes für den Kessel zu groß werde. Ist sie aber dieß geworden, so ist kein Kessel fest genug, dieser Kraft widerstehen zu können, und gefährliche Explosionen, die nur zu oft schon traurige Unfälle herbeigeführt haben, sind dann unvermeidlich. Die Mittel, ihnen ganz und gar vorzubeugen, sind bis jetzt, obwohl die geschicktesten Physiker und Mechaniker sich mit der Auffindung derselben fortwährend befaßt und mancherlei Vorrichtungen, u. a. auch den Regulator (§ 41) dazu angegeben haben, noch immer nicht vollständig genügend aufgefunden, da die Veranlassungen zu solchen schrecklichen Ereignissen eine Combination mannigfacher Umstände seyn können, denen zuvorzukommen auch die sinnreichste Einrichtung nicht zureichend ist. Unentbehrlich, wenn schon nicht durchaus zur Beseitigung jeder Gefahr vollkommen geschickt, sind für jeden Dampfkessel die Sicherheitsventile, die so angebracht sind, daß sie durch die übermäßige Spannkraft des Dampfes in die Höhe gehoben werden, und von selbst wieder in ihre Oeffnungen zurückfallen, wenn von dem zu stark gewordenen Dampf ein hinlänglicher Theil entwichen ist.

Es läßt sich leicht denken, daß mit einer Maschine, deren Wirkungen so großartig und heftig sind, so vielfache Construktionen versucht worden und zur Ausführung gekommen sind, daß eine genaue Beschreibung derselben die Gränzen dieses Buches weit übersteigen würde. Die Zeichnung (Fig. 142) ist eine Maschine mit niedrem Druck. Anders ist die Construktion einer Hochdruckmaschine, wo der Kolben durch Dämpfe, deren Spannung 3 — 4 Atmosphären erreicht, bewegt wird, die aber ohne Condensation ist, und nicht so viel Raum, als die Nieder-

Digitized by Google

druckmaschine einnimmt. Man gebraucht sie vornehmlich bei Dampfschiffen und Dampfwagen.

Der Effect einer Dampfmaschine läßt sich mathematisch berechnen, es ist aber üblich geworden, ihn auf eine viel schwankendere Weise, nach Pferdekraft, zu bestimmen. Hierbei geht man von der Erfahrung aus, daß ein Pferd 180 ℔ 3 Fuß hoch in einer Sekunde, oder 1 Fuß hoch in einer Drittel-Sekunde zu heben im Stande sey. Hiernach würde ein Pferd in einer Minute 32400 ℔ 1 Fuß hoch heben, wofür man bei der Effectberechnung einer Dampfmaschine 22000 bis 27000 ℔ anzunehmen pflegt. Hat man nun die Last in ℔ berechnet, welche durch die Maschine gehoben werden soll, so braucht man nur durch 22000 zu dividiren, um die Anzahl der Pferde zu finden, deren Wirkung so viel, als die der Maschine betrage. Weil aber ein Pferd höchstens nur 8 Stunden lang anhaltend arbeiten kann, während die Maschine 24 Stunden in einem fort ihre Arbeit verrichtet, so muß der Quotient noch verdreifacht werden, um eine Pferdezahl zu finden, die das zu leisten im Stande sey, was die Maschine leistet. Wäre z. B. die Last 1 Million Pfund, so ist 1000000 : 22000 = 45; multiplicirt mit 3 = 135 Pferde, die den Effect der Dampfmaschine ersetzen würden. Uebrigens kommt es bei der Schätzung des Werthes einer Dampfmaschine nicht bloß auf den Effect, sondern auch auf die Menge von Brennmaterial an, durch welche derselbe erlangt wird. Wenn zwei Dampfmaschinen gleiche Mengen Wasser in einer Minute gleich hoch heben, die eine aber während der Zeit noch einmal so viel Steinkohlen, als die andere verzehrt, so ist sie offenbar von einem weit geringern Werthe, als die andere. Ein anderes Beispiel zur Berechnung des Nutzeffects einer Dampfmaschine ist in der Kürze folgendes: Die Grundfläche des Kolbens sey 40 Quadratzoll, die Höhe, zu welcher er in einer Sekunde gehoben wird, sey 4 Fuß, und die Maschine arbeite mit einer Dampfkraft, nach Abzug aller Gegenwirkungen, von 3 Atmosphären. Beträgt nun der Druck einer Atmosphäre 15 ℔ auf 1 Quadratzoll Fläche, so ist er für 3 Atmosphären = 45 ℔, also auf den ganzen Kolben = 1800 ℔. Die Hubkraft des Kolbens beträgt daher in einer Sekunde 4 × 1800 = 7200 ℔ und in einer Minute 432000 ℔. Rechnet man die Nutzkraft der Maschine, wegen mancherlei Verluste, welche durch Reibung und andere Umstände abgehen, noch zu 0,6, so ist ihr reiner Effect = 259200 ℔. Dividirt durch 22000 gibt 11 Pferdekraft oder 33, wenn man wie vorhin rechnet.

§ 186. (Hygrometer.) Im Winter werden die Dünste in einem erwärmten Zimmer, wenn sie die kalten Fensterscheiben berühren, wieder zu Wasser verdichtet. Dasselbe geschieht, wenn sie bei eintretendem Thauwetter sich an steinerne Wände hängen, welches man bekanntlich das Ausschlagen, Beschlagen, nennt. Diese Erscheinungen, so wie überhaupt alle Arten von wässerigen Erscheinungen, die im Luftkreise sich zutragen, und zu denen Nebel, Wolken, Thau, Reif, Regen, Schnee und Hagel gehören, zeigen hinlänglich, daß die Luft zu jeder Zeit, und selbst dann, wenn sie dem Gefühle nach völlig trocken zu seyn scheint, eine Menge Wasserdunst enthalten müsse, daß aber diese Menge, auf welche, außer dem veränderlichen Luftdruck und dem Temperaturwechsel der Luft, auch deren beständige Bewegung Einfluß hat, sich immerfort verändere.

So lange nun die Luft weniger Wasserdunst enthält, als sie der bestehenden Temperatur gemäß zu enthalten vermag, hat dieser sein

Digitized by Google

Maximum noch nicht erreicht, und in diesem Zustand ist die Luft dem Gefühle nach vollkommen trocken, rein und durchsichtig. Hat aber der Dunst sein Maximum erreicht, und ist die Luft für die stattfindende Temperatur damit gesättigt, so wird die fortdauernde Verdunstung, bei unveränderter Temperatur, eine Uebersättigung erzeugen, in welchem Fall dann der Ueberschuß ausgeschieden, und bald in sichtbaren, bald in unsichtbaren Dampfbläschen in der Luft schweben muß. In diesem Zustand ist die Luft dem Gefühle nach feucht, mehr und minder trübe. Die Entstehungsart dieses Zustandes, die, wie sich leicht denken läßt, mehrere Ursachen haben kann, hängt jedoch im Allgemeinen von folgenden Umständen ab.

1) Wenn durch irgend eine Ursache die Luftmasse einer Gegend sich schnell vermehrt, und ihr Druck, was man durch das Steigen des Barometers wahrnehmen kann, schnell zunimmt, so drückt sie auch desto stärker auf die Wasserdünste, die sie enthält. War nun die Luft vor dieser Zunahme ihres Druckes beinahe schon mit Wasserdunst gesättigt, so kann sie nunmehr diesen so verdichten, daß er, der bestehenden Temperatur nach, über sein Maximum gebracht und ausgeschieden wird. Wenn nun auch gerade in diesem Fall nicht immer Regen eintritt, so wird doch der Himmel bedeckt, und die Luft mehr oder minder trübe, nebelig und feucht seyn. Man sieht hieraus, daß ein hoher Barometerstand, zumal wenn er schnell erfolgt, nicht immer heitere und trockne Witterung im Gefolge haben muß. In dem äußerst regnerischen Sommer von 1816 war diese Erscheinung nichts Seltenes.

2) Ein Wind, der aus einer wasserreichen und wärmern Gegend kommt, was für Deutschland besonders der Westwind ist, der von dem atlantischen Ocean herweht, ist gewöhnlich mit Wasserdunst beladen. Dadurch kann die Luft in den Zustand der Sättigung, sogar der Uebersättigung, gerathen. In der That ist für uns der Westwind auch der eigentliche Regenwind.

3) Ist die Wärme anhaltend und windstille Witterung, so kann die Luft bei anhaltend fortdauernder Verdunstung durchsichtig und trocken seyn, so lange bei der bestehenden Temperatur keine Uebersättigung eintritt. Tritt aber, während die Luft diesem Zustande nahe gekommen ist, eine Temperaturerniedrigung, also kühleres Wetter, ein, so kann die aufgenommene Dunstmenge plötzlich über das Maximum ihrer Dichtigkeit steigen, und zu einer wässerigen Erscheinung sich ausscheiden.

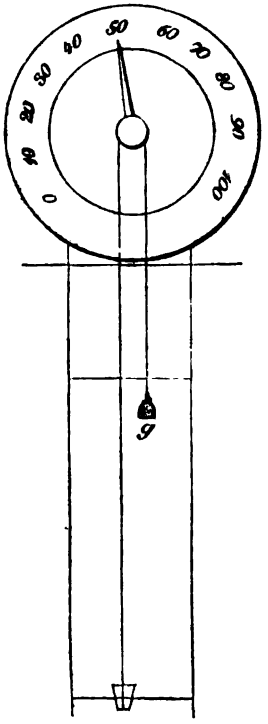
Für die Meteorologie (Atmosphärologie) oder Witterungskunde ist die Kenntniß von der Zu- und Abnahme des Wassergehalts der Luft sehr wichtig. Das Mittel, sie zu erforschen, ist daher von vielen Naturforschern zwar gesucht, bis jetzt aber noch nicht mit genügender Zuverlässigkeit aufgefunden worden. Vorzüglich muß der Körper, dessen man sich zu diesem Zweck bedient, eine so starke Verwandtschaft zum Wasser haben, daß die Wasserdünste, die nicht mehr vollkommen in der Luft aufgelöst sind, sich leicht an ihn hängen und ihn naß machen. Ein solcher Körper wird ein hygroskopischer Körper, eine hygroskopische Substanz genannt. Von den organischen Körpern sind fast alle hygroskopisch, vorzüglich jedoch Haare, Fischbein, Darmseiten, Knochen, ausgetrocknete Haut, Pergament, Leder, Papier, Seide, trocknes Holz u. a. Auch viele anorganische sind es, z. B. Thonschiefer und andere Steinarten, salzsaure Kalk-

Digitized by Google

erde, geglühte Salze und selbst Glas an seiner Oberfläche. Auch Säuren, z. B. concentrirte Schwefelsäure, sind hygroskopisch.

Unter diesen hygroskopischen Körpern erleiden nun viele, wenn sie Wasser angezogen haben, eine merkliche Veränderung in ihrer Ausdehnung, die gemessen werden kann. Ein aus einem solchen Körper verfertigtes und zu diesem Behuf eingerichtetes Werkzeug wird daher ein Hygrometer (Feuchtigkeitsmesser), oder ein Hygroskop (Feuchtigkeitszeiger) genannt. So dehnt sich ein Streifen Papier, Pergament, getrockneter Haut, wenn er feucht wird, nach allen Richtungen aus. Knochen, Fischbein und Holz dehnen sich dagegen bei zunehmender Feuchtigkeit ziemlich in die Breite, doch nur wenig in die Länge aus. Haare werden ebenfalls durch Feuchtigkeit länger, auch Darmsaiten, die davon aufgelockert werden. Steinarten, Salze und flüssige Säuren bekommen durch die Aufnahme von Wasserdünsten ein größeres Gewicht. Alle diese Dinge lassen sich daher zu Hygrometern gebrauchen, unter denen jedoch das Fischbeinhygrometer von De Lüc und das Haarhygrometer von Sauſſüre lange Zeit die ersten Stellen einnahmen.

Fig. 143.




Das Fischbeinhygrometer besteht aus einem dünnen Fischbeinfaden von 3 bis 4 Zoll Länge, aus der Breite eines Stückes Fischbein geschnitten (Fig. 143). Dessen unteres Ende ist am Gestelle befestigt, dessen oberes Ende aber an einen feinen Drahtstreifen geheftet.

Der Drahtstreif geht über ein sehr leicht bewegliches Röllchen, und wird durch ein kleines Gewichtchen g, welches vermittelst eines leichten Pferdehaars mit ihm verbunden ist, in Spannung erhalten. Das Röllchen dient zugleich als Welle eines Zeigers, der über einem in Grade eingetheilten Ring sich bewegen kann, und dieses hängt von der Verlängerung und Verkürzung des Fischbeinfadens ab.

Wird er feuchter, mithin länger, so muß das Gewichtchen sinken, und das Röllchen und mit ihm auch der Zeiger rücken nach der rechten Seite, näher nach 100, hin. Wird er trockner, mithin kürzer, so findet das Gegentheil statt, das Gewichtchen steigt, und Röllchen und Zeiger rücken nach der linken Seite, näher nach 0 hin. Null soll demnach der Punkt der größten Trockenheit, 100 den der größten Feuchtigkeit bezeichnen, und von der Bestimmung dieser beiden Punkte hängt also die Gradeintheilung ab. Jenen bestimmt man dadurch, daß man das Hygrometer in einen erhitzten mit geglühter Potasche oder sonst stark ausgetrocknetem Salz erfüllten und gesperrten Raum bringt und so lange darin läßt, bis der Zeiger einen festen Stand angenommen hat. Den Punkt der größten Feuchtigkeit aber bestimmt man unter einer Glasglocke, die inwendig mit Wasser befeuchtet und von außen her damit gesperrt ist.

Digitized by Google

Das Haarhygrometer, wozu man ein weiches (blondes) Menschenhaar nimmt, das nicht kraus ist, und das man erst, um es von aller Fettigkeit zu befreien, in einer schwachen Lauge kocht, wird im Ganzen eben so wie das Fischbeinhygrometer verfertigt und in Grade eingetheilt. Wegen der Verschiedenheit der hygroskopischen Substanz ist aber an eine genaue Uebereinstimmung beider Hygrometer nicht zu denken, und vorzüglich stark weichen sie in den mittlern Graden von einander ab. Daher man auch bei der Angabe von Hygrometergraden jedesmal hinzufügen muß, ob es Grade des Fischbein- oder Haarhygrometers sind.

Ungeachtet aber, daß diese Hygrometer Brauchbarkeit haben, bleiben sie jedoch weit hinter der Vollkommenheit zurück. Denn obgleich die Verlängerung und Verkürzung des hygroskopischen Körpers einen Schluß auf die größere oder geringere Wassermenge, die er enthält, zu machen erlaubt, so ist jedoch dieser Schluß, und mit ihm die hygrometrische Anzeige, schon aus dem Grunde sehr mangelhaft, weil, außer der Feuchtigkeit, auch die Wärme auf den hygroskopischen Körper einwirkt, und er auch durch diese bald verlängert, bald verkürzt wird. Ueberdieß findet zwischen dem Wassergehalt des hygroskopischen Körpers und dem der Luft kein fest bestimmtes Verhältniß statt, da beide eine sehr verschiedene Verwandtschaft zum Wasser haben, und auch in der Capacität nicht übereinstimmen. Rechnet man noch hinzu, wie sehr Körper, die aus der organischen Natur abstammen, wenn sie einmal ihr Lebensprinzip verloren haben, durch äußern Einfluß mit der Zeit immer mehr ihre ganze Eigenthümlichkeit verändern, so sieht man leicht ein, daß ein jedes Hygrometer der Art wohl ein nothdürftiges, den gänzlichen Mangel ersetzendes Werkzeug, aber nie ein zuverlässiges seyn kann, auch mit der Zeit immer mehr an Zuverlässigkeit verlieren und unbrauchbar werden muß.

Aus diesem Grunde nimmt man zu Hygrometern gern auch solche Körper, die der anorganischen Natur angehören, und zu denen austrocknende Salze und besonders ein Thonschiefer gehört, den Lowitz 1772 zu Astrachan am Ufer der Wolga gefunden hat. Hängt man ein dünnes Stückchen dieses Schiefers an eine empfindliche Wage auf, so läßt sich durch die Zu- und Abnahme seines Gewichts der Zustand der Feuchtigkeit wahrnehmen. Allein außer der Schwierigkeit, welche mit der Gewichtsbestimmung für den Grad der größten Trockenheit und Feuchtigkeit, und mit der Entwerfung einer dazu passenden, verschiedene Grade anzeigenden Skale verbunden ist, hat auch ein solcher Körper an und für sich keinen so hohen Grad von Empfindlichkeit für Trockenheit und Nässe, wie hygroskopische Körper, die aus der organischen Natur herkommen. Auch Dalton's Vorschlag, den Wassergehalt der Luft durch das Anlaufen eines Glases, das erst mit sehr kaltem, nach und nach mit immer heißerm Wasser gefüllt wird, und durch das Verschwinden des äußerlich am Glase sich dabei ansetzenden Beschlags (Dunstes), zu bestimmen, ist sehr mangelhaft und unzuverlässig.

Eine andere Art Hygrometer, durch welche der Wassergehalt der Luft quantitativ, nach Procenten, bestimmt werden kann, hat Daniell angegeben. Dieses Hygrometer (Fig. 144. S. 378), das nachgehends von Döbereiner u. A. verbessert und vereinfacht worden ist, besteht aus einer gläsernen oder fein polirten metallnen Kugel A, die luftdicht ist, und ein empfindliches Thermometer enthält. Mittelst der Röhre B ist sie mit einer andern Kugel C verbunden, die außerhalb mit feinem Mus-

Digitized by Google

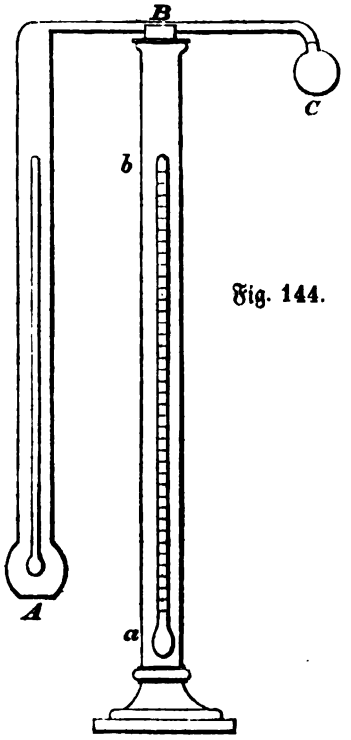



Fig. 144.

selin umwickelt ist. Beide Kugeln, sammt der Röhre B, sind luftleer, und enthalten nur etwas Schwefeläther. Wird nun aller Aether in die Kugel A getrieben, wozu die Wärme der Hand hinreicht, und C von außen mit etwas Aether befeuchtet, so fängt dieser zu verdunsten an, und die dadurch entstehende Kälte schlägt dann auch die innern Dämpfe nieder, und verursacht ein Sinken des in der Kugel A befindlichen Thermometers. So wie sich hierdurch in der Kugel A ein schmaler Thauring zeigt, beobachtet man dieses Thermometer. Zur Beobachtung der ursprünglichen Temperatur der Luft, unter welcher man den Versuch anstellt, dient das am Fußgestell des Instruments angebrachte Thermometer ab. Die Differenz der Temperaturangaben beider Thermometer zeigt dann an, wie viel die Temperatur der Atmosphäre abnehmen müsse, damit in ihrem Wassergehalt ein Niederschlag sich bilden könne, woraus ihr jedesmaliger Feuchtigkeitszustand hervorgeht.

Zum Gebrauch dieses Hygrometers sind aber Tabellen erforderlich, welche für eine gewisse Temperatur bei dem jedesmaligen Barometerstand den Druck der Wasserdünste angeben, wenn die Luft damit gesättigt ist. Dieser Druck beträgt in Linien nach Dalton für

| | | | |
|---|---|---|---|
| — 20° R. . . . | 0,3354 | + 5° . . . | 3,4144 |
| — 10° „ . . . | 0,9087 | + 10° . . . | 5,1026 |
| — 1° „ . . . | 2,0563 | + 15° . . . | 7,4928 |
| | | + 20° . . . | 10,8230 |
| | | + 25° . . . | 15,3940. |

Gesetzt, man habe das Daniell'sche Hygrometer beobachtet bei einem Barometerstand von 28 Zoll = 336 Linien, und einer Lufttemperatur von + 20° R. Bei + $14^1/_2$° habe sich in der Kugel A ein Niederschlag gebildet, der aber bei + $15^1/_2$° wieder verschwunden sey. Man nehme nun von diesen beiden Temperaturen das Mittel = + 15°, und rechne den Dunstdruck für + 20° und + 15° für den Barometerstand von 336 Linien aus, nämlich:

$$336 : 10{,}823 = 100 : x;\ x = 3{,}22$$
$$336 : 7{,}4928 = 100 : x;\ x = 2{,}23$$

d. h. bei + 20° ist der Wassergehalt der Luft für den Barometerstand von 336 Linien 3,22 Procent, und bei + 15° ist er 2,23 Procent. Nun ist 3,22 — 2,23 = 0,99 Procent, also enthält die Luft unter den angegebenen Umständen 0,99 Procent Dünste weniger, als sie bis zu ihrem Sättigungspunkt aufnehmen könnte.

Digitized by Google

Das Daniell'sche und die ihm ähnlichen Hygrometer beruhen auf dem Princip, daß durch Verdampfung ein Körper so weit erkaltet werde, daß auf seiner Oberfläche der in der Atmosphäre enthaltene Wasserdampf einen wässerigen Niederschlag bilde. Von anderer Art ist aber der Apparat, bei welchem aus dem Wasserdampf, den die Atmosphäre enthält, die Menge der vorhandenen Feuchtigkeit bestimmt wird. Ein solches Werkzeug wird Psychrometer, Kältemesser, genannt; das zweckmäßigste hat Professor August angegeben. Dieses besteht aus zwei Thermometern, die in einem messingenen Rahmen auf Glastafeln neben einander befestigt und so groß sind, daß sie Zehntel-Grade anzeigen können. Die Kugel des einen Thermometers wird durch ein Badeschwämmchen in einem mit Wasser angefüllten Gefäßchen, das ebenfalls in dem Rahmen befestigt ist, mittelst einer schicklichen Vorrichtung, beständig feucht erhalten, während das andere Thermometer die Temperatur der Luft anzeigt. Je entfernter nun der Wassergehalt der Luft von dem Sättigungspunkt bei der bestehenden Temperatur ist, desto rascher verdunstet das Wasser auf der einen Thermometerkugel, desto mehr auch kühlt sich die befeuchtete Kugel ab, und um so größer zeigt sich der Unterschied in beiden Thermometerständen. Aus diesem Unterschied kann dann mittelst einer Tabelle, die August selbst dazu berechnet hat, der jedesmalige Wassergehalt der Luft gefunden werden.

---

# Dreizehntes Kapitel.

## Licht.

### Der Philosoph und die Sonne.

Der Philosoph.

Du edler Stern am hohen Himmelszelt,
Du Herr und König deiner Brüder,
Du bist so gut gesinnt. — Du wärmest uns die Welt
Und schmückst mit Blumen uns das Feld,
Und machst den Bäumen Laub, den Vögeln bunt Gefieder;
Du machst uns Gold, das Wunderding der Welt,
Und Diamant und seine Brüder;
Kommst fröhlich alle Morgen wieder,
Und schüttest immer Strahlen nieder. —
Sprich, edler Stern am hohen Himmelszelt,
Wie wachsen dir die Strahlen wieder?
Wie wärmest du? wie schmückst du Wald und Feld?
Wie machst du doch in aller Welt
Dem Diamant sein Licht, dem Pfau sein schön Gefieder?
Wie machst du Gold?
Sprich, liebe Sonn', ich wüßt' es gern.

Die Sonne.

Weiß ich's? Geh', frage meinen Herrn.

Matthias Claudius.

§ 187. (Natur des Lichts.) Durch den Gesichtssinn fließt uns eine unabsehbare Reihe von Wohlthaten zu, durch ihn, den edelsten unter den Sin-

Digitized by Google

nen, schließt sich uns der Wohnplatz auf, auf dem wir leben, und die unermeßlichen Räume über ihm deckt ebenfalls er uns auf. Und so groß ist die Macht des menschlichen Geistes, daß es ihm sogar gelungen ist, diesen Sinn, durch welchen allein „er alles Große, was ihn rühret," kennt, auf künstlichem Wege noch ungemein zu verstärken, und weit über seine natürlichen Gränzen hinaus zu erhöhen. Angeregt wird aber dieser sehr empfindliche Sinn durch das Licht, ohne welches er nichts vermag.

Die Gesetze der Lichterscheinungen sind uns mathematisch sehr genau bekannt, nicht so ist es aber mit den beiden Fragen, die an die Spitze der ganzen Untersuchung sich stellen. Was ist das Licht, und worin besteht es? heißt die eine, und wie wirkt es auf den Gesichtssinn? die andere Frage. Von jeher sind diese Fragen vielfältig aufgeworfen, und von den scharfsinnigsten Denkern bearbeitet worden, ohne daß man deßhalb ihrer Entscheidung nahe gekommen wäre. Hierzu wird es auch, da hierüber die Erfahrung schweigt, niemals kommen. Dieses nur bleibt entschieden, daß zwischen dem Auge und den äußern Gegenständen, die man sieht, Etwas seyn muß, welches auf den Gesichtssinn die eigenthümliche Wirkung, die man das Sehen nennt, macht, und daß man dieses unbekannte Etwas das Licht nennt, weil es der Erfahrung gemäß ist, daß bei dessen Mangel und Abwesenheit die Gegenstände dem Auge nicht mehr wahrnehmbar sind.

Abgesehen von den oft kindischen Meinungen der alten Philosophen, deren Ansichten von dem Wesen und der Wirkung des Lichts ohnehin keine Vertheidiger mehr finden, theilen sich jetzt die Physiker, was diese Fragen betrifft, in zwei Theorien, deren eine, außer Descartes und Huygens, den berühmten Mathematiker Euler, deren andere den nicht weniger berühmten Newton zum Urheber hat, und die man durch die Benennung des Vibrations- oder Undulations- und Emanationssystems von einander unterscheidet.

Das Vibrationssystem, welches an Euler einen vorzüglichen Vertheidiger gefunden hat, nimmt an, der ganze Weltraum sey von einer überaus feinen, ganz unwägbaren und höchst elastischen Flüssigkeit, die man den Aether nennt, erfüllt, und dieser werde durch einen leuchtenden Körper in Schwingungen versetzt, denen sehr ähnlich, in welche die Luft durch die Schwingungen eines schallenden Körpers geräth. Vermittelst dieser Schwingungen wirkt dann ein leuchtender Körper eben so auf den Gesichtssinn, wie ein schallender Körper, vermittelst der Luftschwingungen, auf das Gehör wirkt. Auch die Aetherschwingungen pflanzen sich in gerader Linie fort und verbreiten sich nach allen Seiten, folgen aber viel schneller auf einander, als die Luftschwingungen, die durch einen schallenden Körper entstehen (§ 147). Dieser Theorie, der jetzt die meisten Physiker huldigen, hat ihre festere Begründung den Arbeiten der neueren Zeit zu verdanken, besonders denen von Young, Fresnel und Fraunhofer. Nach dieser Theorie gibt es keine eigentliche Lichtstrahlen, und dieser Ausdruck bedeutet nur die Halbmesser der kugeligen Lichtwellen.

Das Emanationssystem nimmt dagegen an, daß aus den leuchtenden Körpern wirkliche Lichtstrahlen ausgehen, durch welche, in so fern sie das Auge treffen, der Gegenstand sichtbar werde. Newton war Gegner der Wellentheorie, weil er glaubte, daß der das ganze Weltall erfüllende Aether

Digitized by Google

den Bewegungen der Weltkörper Widerstand leisten müßte. Enke hat gezeigt, daß dieses bei den sehr dünnen und dunstförmigen Massen der Kometen auch wirklich der Fall sey, während dagegen, bei der außerordentlichen Feinheit des Aethers, dieser Widerstand für andere Weltkörper von viel dichtern Massen, sich auf Nichts reducire.

Beiden Ansichten noch entgegen steht die, welche von den dynamischen Naturforschern vertheidigt wird, da diese überhaupt Gegner der materiellen Beschaffenheit des Lichtes sind. Nach ihnen ist das Licht, welches nicht auf die Erdsphäre beschränkt ist, sondern dem ganzen Weltraum angehört, nichts Anders als die freie, noch ungebundene Dehnkraft selbst, welche durch keine anziehende Kraft zur Materie geworden ist (§ 7). So lange nun ein Körper ein Uebermaß an Dehnkraft besitzt, welche durch dessen anziehende Kraft nicht gebunden werden kann, ist der Körper leuchtend, indem er seine freie Dehnkraft nach allen Seiten hin verbreitet, und überall erscheint, wo diese Kraft das Auge trifft.

Daß große Geister sich angesprochen fühlen, über das Wesen des Lichts, als Grundursache der erhabensten Naturerscheinungen, Aufschluß zu suchen, ist zwar an und für sich der Würde ihrer Denkkraft gemäß, dessen ungeachtet bestand die Ausbeute aller Speculationen, welche man über die Natur des Lichts zu allen Zeiten angestellt hat, nur in einer oder der andern Hypothese, von welchen keine von Einwürfen frei ist. Nicht mit Unrecht gab man daher dem Emanationssystem so lange den Vorzug, als es ohne viele Verwicklungen ausreichte, die Erscheinungen des Lichts einfach dadurch erklären zu können, was aber jetzt so leicht nicht mehr angeht. Manche Einwürfe, die man diesem System auch früher schon entgegenstellte, waren dagegen nicht so erheblich. So ist z. B. der Einwurf, daß die Sonne, als Quelle des Lichts, an Masse immer abnehmen, zusammenschrumpfen und zuletzt versiegen müsse, wenn das Licht aus ihr ausströme, dadurch zu widerlegen, daß es gar nicht undenkbar ist, daß ihr dieser Abgang auch wieder reichlich ersetzt werde. Wer kennt auch die Kräfte, mit welchen die göttliche Allmacht die ganze Natur erhält und ewig neu belebt! Wird nicht schon der ungeheuere Abgang des Wassers durch die Verdunstungen in die Luft dadurch wieder ersetzt, daß er als Regen und Schnee wieder zurückkehrt? Wer will sagen, daß die Sonne nicht ihre Lichtwolken haben könne, wie die Erde ihre Wasserwolken hat? Außer dem Einwurf, daß die Sonne durch den Lichtverlust, den sie stets erleide, in immerwährendem Abnehmen seyn müsse, den man als eine Hauptschwierigkeit gegen die Annahme des Emanationssystems betrachtet, setzt man auch diesem System als nicht minder wichtig noch entgegen, daß die Lichtstrahlen, in so fern sie wirkliche Existenz haben, sich einander durchkreuzen und verwirren, daher keinen deutlichen Gegenstand zeigen könnten. Allein abgesehen davon, daß durch die außerordentliche, menschlicher Vorstellungsgabe gar nicht mehr deutliche Feinheit dieser Strahlen der Störung, welche aus ihrer Durchkreuzung entstehen müsse, entgegen gewirkt wird, kann diese Einwendung im Grunde auch jedem andern System entgegen gesetzt werden. Nicht minder Gewicht legt man auch auf den Einwurf, daß Körper, welche z. B. wie Glas, das Licht durch sich hindurch gehen lassen, nach allen Richtungen durchlöchert, also ohne eigentliche Cohäsion seyn müßten, wenn wirkliche Lichtstrahlen durch sie drängen. Allein auch diese Einwendung verliert an Erheblichkeit, wenn man erwägt, wie unendlich klein diese Oeffnungen für den Durchgang der höchst subtilen Lichtstrahlen

Digitized by Google

zu seyn brauchen. Auch ist es der Erfahrung gemäß, daß durchsichtige Körper in dicken Massen weniger Licht durch sich fortleiten.

Im Ganzen zeigt es sich aber auch hier wieder, daß der menschliche Geist, auch auf der vollkommensten Stufe seiner irdischen Ausbildung, sich vergebens anstrengt, den Grund aufzufinden, den der unsichtbare Baumeister seiner wundervollen Schöpfung gelegt hat, und daß der Triumph unseres Wissens nur auf die Kenntniß der Gesetze, unter welchen die Naturerscheinungen stehen, beschränkt bleiben muß. Von dieser Seite her betrachtet, ist die Lehre vom Licht eine der bestimmtesten und vollkommensten.

Nach dem Emanationssystem, wonach das Licht eine eigenthümliche, aus den leuchtenden Körpern ausströmende Materie ist, muß zu den Beschaffenheiten des Lichtstoffs vor Allem auch die gehören, daß er völlig unwägbar und von einer so außerordentlichen Feinheit ist, daß er durchaus keine Sperrung zuläßt, obgleich es Mittel gibt, seinen Zutritt zu hemmen, und seine Wirkung auf das Auge aufzuheben.

Wie groß die Feinheit des Lichtes in der That seyn muß, läßt sich schon daraus beurtheilen, daß man im Stande ist, eine so große Menge von Gegenständen, die alle, wenn sie gesehen werden sollen, dem Auge Licht zusenden müssen, zugleich zu übersehen. Durch ein kleines Löchelchen in einem Stück Papier, durch welches vielleicht nicht zehn feine Härchen gesteckt werden können, kann man eine ganze Gegend mit tausenden von Gegenständen, die darauf sind, übersehen. Von allen diesen Gegenständen muß Licht durch die kleine Oeffnung hindurch zum Auge gelangen, ohne sich im mindesten in einander zu verwirren. Ja die ganze sichtbare Hälfte des Himmels, an welcher ein zahlloses Heer von Sternen glänzt, läßt sich durch eine so kleine Oeffnung, die man auf dem Rücken liegend vor das Auge hält, übersehen. Wäre es auch der Fall, daß unter diesen Umständen von jedem Stern nur ein einziger Lichtstrahl zum Auge gelange, so müßte er schon viel billionenmal feiner als ein feines Härchen seyn, eine Feinheit, für welche unser Vorstellungsvermögen ganz unzureichend ist, und gegen welche die Feinheit des dünnsten Gases als eine grobe unendlich schwerere Materie erscheint. Ueberhaupt aber muß die zarte Natur des Lichtstoffs von der Art seyn, daß alle Gesetze über das Gleichgewicht und die Bewegung wahrnehmbarer materieller Körper auf ihn ohne alle Anwendung bleiben. Undurchdringlichkeit, Schwere, Druck, Stoß, von alldem zeigt der Lichtstoff keine Spur, und von allen Folgen derselben ist er gänzlich frei. Dennoch ist es dem menschlichen Geiste gelungen, die Bewegungsgesetze des Lichts mit Bestimmtheit zu entwickeln.

§ 188. (Eigenes und geborgtes Licht.) Eine allgemein bekannte Erfahrung ist es, daß manche Körper durch eigenes Licht sichtbar sind. Außer der Sonne, gehören hierher die Lichtflamme und andere brennende und glühende Körper, faules Holz, manche Fische, wenn sie verwesen, Johanniswürmchen und mehrere andere Insekten, einige Phosphorarten, Nordlichter, Sternschnuppen, Irrlichter und noch mehrere andere Körper, so wie das zahllose Heer der Fixsterne, die am nächtlichen Himmel glänzen. Dergleichen Körper nennt man daher *selbstleuchtende* oder *ursprünglich leuchtende Körper*. Sehr viele andere Körper sind aber nur dann sichtbar, wenn sie erst Licht von außen her empfangen; sie leuchten daher aus sich selbst gar nicht, sondern geben nur das erborgte Licht wieder zurück. Die Erde und fast alle irdischen Gegenstände, alle Planeten mit

Digitized by Google

ihren Monden gehören in diese Klasse, und werden daher dunkle oder erleuchtete Körper genannt. Eine wesentliche Verschiedenheit der dunkeln Körper unter sich besteht aber darin, daß sie das empfangene Licht entweder durch sich hindurch lassen, oder es aufhalten. Jene nennt man durchsichtige, diese undurchsichtige Körper. Wasser und viele andere tropfbare Körper, Glas und noch andere feste Körper, die atmosphärische Luft und andere Luftarten sind durchsichtige Körper.

§ 189. (Lichtbewegungen.) Befindet sich zwischen einem Körper und dem Auge noch ein anderer Körper, der undurchsichtig ist, so kann jener nicht mehr gesehen werden. Diese Erfahrung, die Niemand unbekannt ist, führt auf das erste Gesetz der Lichtbewegungen, und dieses besteht darin, daß das Licht in ununterbrochener gerader Linie fortgeht, so lange die materielle Beschaffenheit des Raumes, durch den es sich bewegt, unverändert bleibt. Da man die materielle Beschaffenheit eines Raumes, in welchem eine Bewegung statt hat, das Mittel zu nennen pflegt, so drückt man dieses Gesetz gewöhnlich auch so aus: das Licht bewegt sich in einem und demselben Mittel in geraden Linien. Will man, nicht zufrieden mit den unzähligen Erfahrungen, die dieses Gesetz bestätigen, auch noch durch einen besondern Versuch sich von dessen Richtigkeit überzeugen, so lasse man das Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung in ein sonst ganz finsteres Zimmer fallen, und man wird die geradlinige Fortpflanzung des Lichts an den in der Luft schwimmenden Stäubchen deutlich wahrnehmen. Auf diese Weise sendet jeder Körper Licht in geraden Linien, von denen jede für sich den Weg eines eigenen Lichtstrahls vorstellen kann, nach allen Seiten, wohin eine gerade Linie gezogen werden kann, aus, und der Lichtstrahl behält dann auch diese Richtung so lange unverändert bei, so lange das Mittel, in dem er sich bewegt, eine unveränderte materielle Beschaffenheit hat. Aendert sich aber die Dichtigkeit oder die materielle Beschaffenheit des durchsichtigen Mittels, gehen z. B. Lichtstrahlen durch Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit, oder aus Luft durch Wasser, oder Glas, und umgekehrt, so leidet auch ihre Richtung eine Veränderung, und wird gebrochen (refractirt), indem alsdann die Lichtstrahlen in neuen Richtungen fortgehen, die mit den vorigen einen Winkel machen. Trifft aber ein Lichtstrahl auf einen Körper, der undurchsichtig ist, so wird er von dessen Oberfläche zurückgeworfen (reflectirt), indem er in neuer Richtung durch dasselbe Mittel, durch welches er auf den Körper gekommen ist, wieder zurückgeht.

Diese merkwürdigen Erfolge der Lichtbewegungen, zu denen auch noch die Beugung (Inflexion) hinzukommt, die ein Lichtstrahl erleidet, wenn er nahe an den Kanten eines Körpers vorbei geht, und die Polarisation, wo Lichtstrahlen gespalten werden, so wie das wunderbar liebliche Farbenspiel des Lichts, stehen aber, wie sich leicht denken läßt, unter eigenthümlichen Gesetzen, und hierdurch erhält die ganze Lehre vom Licht, die man allgemein die Optik nennt, drei Haupttheile. So nennt man den Theil der optischen Wissenschaften, der vom geraden Licht und von dem Sehen mit bloßem (unbewaffnetem) Auge handelt, die Optik im engern Sinne; Dioptrik nennt man den Theil der Optik, der die Gesetze des gebrochenen Lichts und das Sehen durch geschliffene Gläser, oder mit bewaffnetem Auge, behandelt, und Katoptrik den Theil, der die Gesetze des zurückgeworfenen Lichts, und das Sehen mittelst der Spiegel zum Gegenstande hat.

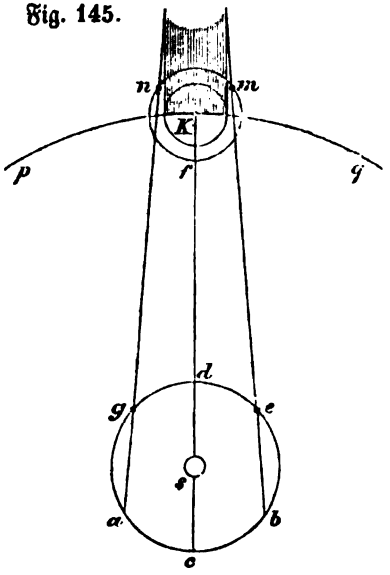
Digitized by Google

§ 190. (Geschwindigkeit des Lichts.) Wie überhaupt alle Erscheinungen, welche durch das Licht bewirkt werden, von außerordentlicher und erstaunungswürdiger Art sind, so ist es auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Lichtstrahlen sich fortpflanzen. Obgleich diese Geschwindigkeit nicht unermeßlich und augenblicklich ist, wie man in früheren Zeiten geglaubt hat, so ist sie doch so ungeheuer groß, daß man, selbst durch Vergleichung mit irgend einer andern bekannten großen Geschwindigkeit, dennoch keine deutliche Vorstellung von ihr erlangt, indem sie fast so gut wie augenblicklich ist. Die Geschwindigkeit des Lichts, welches aus selbstleuchtenden irdischen Körpern sich verbreitet, ist auch wirklich so groß, daß die Zeit, welche es braucht, um von dem Ort seiner Entstehung in verschiedenen Entfernungen sichtbar zu werden, gar nicht gemessen werden kann, weil jede Entfernung von einem Ort auf der Erde zu einem andern gegen die Geschwindigkeit des Lichts auf jeden Fall viel zu unbeträchtlich ist (§ 147). Feuersignale, die von hochliegenden Orten ausgehen, werden daher weithin am Horizont in gleichem Augenblick ihrer Entstehung wahrgenommen. Dem Gebrauch des von Chappe erfundenen Telegraphen (Fernschreibmaschine) liegt ebenfalls diese sehr große Lichtgeschwindigkeit zu Grunde; bekanntlich kann eine in telegraphischen Zeichen mitzutheilende Nachricht 50 — 60 Meilen in einer Viertelstunde durch eine Telegraphenlinie zurücklegen. Erst dann, wo der Weg, den das Licht von dem Ort seiner Entstehung bis zum Ort seiner Wahrnehmung zurückzulegen hat, selbst sehr groß ist, kann eine Messung seiner Geschwindigkeit stattfinden, und dieses ist mit dem Licht der Fall, das die Himmelskörper uns zusenden. So hat man durch astronomische Messungen gefunden, daß das Licht der Sonne die Erde in 487,5 Sekunden erreiche, und daß es, so weit wir zu urtheilen vermögen, eine vollkommen gleichförmige Geschwindigkeit habe (§ 36). Da nun der Abstand der Sonne von der Erde $20^1/_2$ Millionen Meilen beträgt, so legt das Licht, welches wir von der Sonne empfangen, in jeder Sekunde einen Weg von mehr als 42000 Meilen zurück, eine Geschwindigkeit, die beinahe eine Million Mal größer ist, als die Geschwindigkeit des Schalles (§ 147), und noch über 10000mal die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn um die Sonne übersteigt (§ 32. II.). Wie bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft jeder Ton, er sey hoch oder tief, schwach oder stark, mit gleicher Geschwindigkeit fortgepflanzt wird, so pflanzen sich die Aetherwellen aller Weltkörper mit derselben angegebenen Geschwindigkeit fort, woraus folgt, daß die Anzahl der Schwingungen eines jeden Aethertheilchens in einer Sekunde ungeheuer groß seyn muß. Wäre z. B. die Länge einer Aetherwelle, deren Länge man aus Versuchen ermittelt hat, 0,0008 Meter, so kommen auf die Länge eines Meters 125000000 Schwingungen, daher auf 42000 Meilen, die Meile zu 7400 (eigentlich zu 7420,16) Meter gerechnet, fast 389 Billionen Schwingungen für jedes Aethertheilchen in einer Sekunde.

Der Erste, welcher die Mittel zur Messung der Lichtgeschwindigkeit angab, war Olof Römer, ein dänischer Astronom. Veranlassung hierzu gaben ihm seine fleißigen Beobachtungen, die er vom Jahr 1670 bis 1675 über die Verfinsterungen der vier Monde oder Trabanten anstellte, die den Planeten Jupiter begleiten. Wenn nämlich k (Fig. 145) den Jupiter bezeichnet, von dessen Bahn um die Sonne, die in s stehen soll, pq ein Stück ausmacht, so stellt der Kreis mnl die Bahn eines seiner Trabanten vor. Bei m, wo er in den Schatten seines Hauptplaneten

Digitized by Google

Fig. 145.




tritt, wird er verfinstert, und bleibt dann so lange unsichtbar, bis er bei a wieder aus diesem Schatten heraus kommt. Für den ersten oder innersten Trabanten sollte diese Verfinsterung allemal nach 42 Stunden und 28 Minuten einmal erfolgen, weil man astronomisch berechnet hat, daß er in dieser Zeit seinen Umlauf um den Jupiter vollendet. Römer fand aber, daß die Beobachtung mit der Berechnung nicht übereinstimme, und daß, wenn acbedg die Bahn der Erde um die Sonne bedeute, die Verfinsterung um 8 Minuten $7^1/_2$ Sekunden später erfolge, wenn die Erde nahe bei c ist, und eben so viel früher, wenn sie nahe bei d steht. Auch bemerkte er, daß die Verfinsterung, in dem halben Jahre, wo die Erde von c nach d durch b fortrückt, und sich so dem Jupiter nähert, immer eher eintritt, je näher sie nach d kommt, z. B. in e früher als in b. In dem andern halben Jahre hingegen, wo die Erde von d nach c durch g geht, und sich so wieder von dem Jupiter entfernt, ist es derselbe Fall mit dem Austritt aus der Verfinsterung; je näher die Erde nach c kommt, desto später wird dieser wahrgenommen, z. B. in a später als in g. Dieses kann nun keine andere Ursache haben, als die, daß das Licht eher in e als in b, und eben so eher in g als in a ankommt. Außerdem daß die ganze Erscheinung zu einem neuen Beweis von dem Umlauf der Erde um die Sonne dient, gibt sie auch die Mittel zur Messung der Geschwindigkeit, mit welcher das Licht der Sonne nach der Erde gelangt. Denn da man in d die Verfinsterung um 8 Minuten $7^1/_2$ Sekunden früher, und in c um 8 Minuten $7^1/_2$ Sekunden später wahrnimmt, beide Punkte aber um den Durchmesser der Erdbahn von einander entfernt sind, so braucht das Licht, um durch diesen Durchmesser zu gehen, 16 Minuten und 15 Sekunden, und da dieser Durchmesser, astronomischen Berechnungen gemäß, 41 Millionen Meilen beträgt, so pflanzt sich das Licht von der Sonne, die im Mittelpunkt der Erdbahn steht, in 8 Minuten $7^1/_2$ Sekunden bis zur Erde fort, und muß demnach in jeder Sekunde über 42000 Meilen zurücklegen. Späterhin haben auch mehrere Astronomen noch auf anderm Wege die Bestätigung dieser Geschwindigkeit aufgefunden.

Astronomisch ist es auch erwiesen, daß Merkur $^2/_5$mal, Venus $^7/_{10}$mal, Mars $1^1/_2$mal, Jupiter $5^1/_5$mal, Saturn $9^1/_2$mal und Uranus $19^1/_{10}$mal so weit von der Sonne als die Erde absteht. Demnach gelange das Licht von der Sonne zum Merkur in 3 Minuten 15 Sekunden; zur Venus in 5 Minuten $41^1/_4$ Sekunden; zum Mars in 12 Minuten $11^1/_4$ Sekunden; zum Jupiter in 42 Minuten 15 Sekunden; zum Saturn in 77 Minuten $11^1/_4$ Sekunden; zum Uranus in 155 Minuten 12 Sekunden.



Digitized by Google

Obgleich das Licht mit so erstaunlicher Schnelligkeit durch den Weltraum sich fortpflanzt, so braucht es doch lange Zeit, ehe es auch nur von den nächsten Fixsternen seinen Schimmer zur Erde bringt. Die Astronomen haben durch Beobachtung und Rechnung gefunden, daß die Fixsterne, die im Universum der Sonne am nächsten stehen, doch wenigsten 206000mal den Abstand der Erde von der Sonne übertreffen. Es gehen also wenigstens drei Jahre darauf, bis der Lichtstrahl, der aus einem der nächsten Fixsterne kommt, die Erde erreicht, und Jahrhunderte können darauf gehen, bis das Licht der, wegen ihrer ungeheuren Entfernung, kaum mehr sichtbaren Fixsterne zur Erde gelangt. Gefiel es der Allmacht Gottes, die Milchstraße zu zernichten, so würden wir, durch die Verschwindung ihres Lichts darauf aufmerksam gemacht, doch erst nach hunderten von Jahren dieses gewahr werden, weil das letzte von ihr ausgegangene Licht erst nach so langer Zeit zur Erde kommt und wir sie nicht so sehen, wie sie jetzt leuchtet, sondern vor Jahrhunderten geleuchtet hat. Ja es ist möglich, selbst wahrscheinlich, daß es Fixsterne geben mag, deren Licht noch gar nicht bis zu der Erde gelangt ist, die also noch Niemand gesehen hat und die bis jetzt daher noch ganz unbekannt sind.

§ 191. (Strahlenkörper.) Die Lichtstrahlen, welche von einem leuchtenden Körper, den man sich, um die Vorstellung zu vereinfachen, bloß als einen leuchtenden Punkt (Fig. 146 und 147) denken kann, in geraden

Fig. 146.

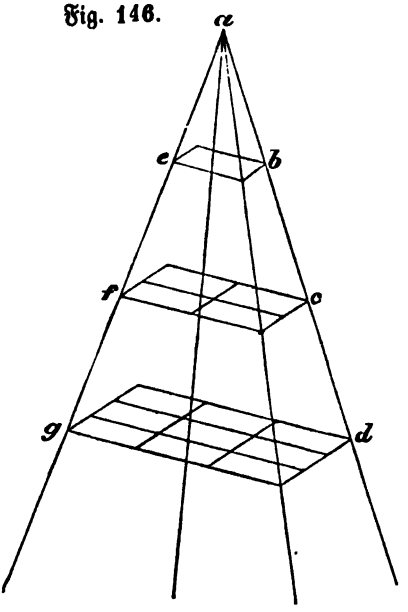
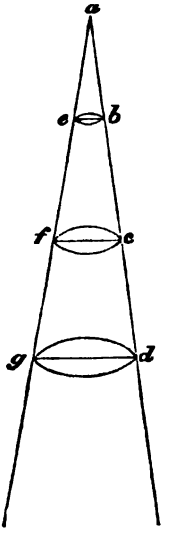



Fig. 147.




Linien auf einen dunkeln Körper fallen, bilden einen aus Lichtstrahlen bestehenden Körper, einen Strahlenkörper, von welchem die erleuchtete Fläche des dunkelen Körpers die Grundfläche und der leuchtende Punkt a die Spitze ist. Die Gestalt dieses Strahlenkörpers hängt von der Gestalt des dunkeln Körpers ab, der ihm zur Grundfläche dient. Ist die erleuchtete Fläche von geraden Linien begränzt (Fig. 146), so wird die Gestalt des

Digitized by Google

Strahlenkörpers pyramidalisch, es entsteht eine Strahlenpyramide. Ist aber die erleuchtete Fläche kreisförmig (Fig. 147), so nimmt der Strahlenkörper eine kegelförmige Gestalt an, es entsteht ein Strahlenkegel. Je weiter aber der erleuchtende Punkt von der erleuchteten Fläche entfernt ist, desto geringer wird auch die Neigung, unter welcher die Lichtstrahlen im leuchtenden Punkt zusammenlaufen, und desto mehr nähern sie sich der parallelen Richtung. Die Gestalt des Strahlenkegels geht dadurch mehr und mehr in eine cylinderförmige, in einen Strahlencylinder, über. Bei einer sehr großen Entfernung des leuchtenden Punktes von der erleuchteten Fläche können daher die Lichtstrahlen, die von dem leuchtenden Punkt ausgehen, als unter sich gleichlaufend betrachtet werden, und dieses ist unter andern der Fall mit den Strahlen, die von der Sonne auf die Erde gelangen. Die nicht leichte Theorie von der Ausmessung der Lichtstärke, deren mathematischer Theil gewöhnlich die Photometrie genannt wird, geht in der Auffindung ihrer Gesetze von dieser Grundansicht aus.

§ 192. (Abnahme der Lichtstärke.) Daß aber überhaupt die Stärke der Erleuchtung abnehmen müsse, je weiter die erleuchtete Fläche von dem leuchtenden Punkt entfernt ist, läßt sich leicht daraus erkennen, daß mit der Entfernung von dem leuchtenden Punkt auch der Raum, in welchem das Licht sich verbreitet, größer wird, wodurch das Licht, welches auf einzelne Theile dieses Raumes fällt, nothwendigerweise geschwächt werden muß. Die Abnahme der Erleuchtung richtet sich aber nicht nach der einfachen Zunahme der Entfernung, sondern nach dem Quadrat dieser Zunahme. So ist z. B. in einer doppelt so großen Entfernung von dem leuchtenden Punkt die Erleuchtung nicht zweimal geringer, als sie in der einfachen Entfernung ist, sondern viermal; in der dreifachen Entferung ist sie nicht dreimal, sondern neunmal geringer, als in der einfachen u. s. w. Dieses Gesetz, welches den Hauptsatz der Lichtmeßkunst enthält, pflegt man wörtlich so abzufassen: Die Stärke des Lichts nimmt in dem Verhältniß ab, in welchem das Quadrat der Entfernung zunimmt. In der Voraussetzung, daß die Stärke des Lichts durch sonst nichts, als nur allein durch die Ausbreitung auf eine größere Fläche geschwächt werde, muß man demnach, um in einer doppelten Entfernung von einem Lichte eben so hell zu haben, als in der einfachen Entfernung von demselben, vier solcher Lichter, in der dreifachen Entfernung neun solcher Lichter leuchten lassen u. s. w. Auch kann man nach diesem Gesetze und in der angeführten Voraussetzung das Verhältniß der Helligkeiten bestimmen, mit welchen die Sonne die Planeten erleuchtet; sie verhalten sich umgekehrt, wie deren Quadratabstände von der Sonne. Nach den oben (§ 190) angeführten Abständen kann man berechnen, daß die Helligkeit auf der Erde sich verhalten müsse zu der auf dem Merkur, umgekehrt wie das Quadrat von 1 zum Quadrat von $^2/_5$, also wie 4 zu 25 oder wie 1 zu $6^1/_4$. Auf diese Weise gerechnet, findet man, daß es auf dem Merkur über 6mal, auf der Venus über 2mal heller als auf der Erde seyn müsse. Hingegen hat Mars mehr als 2mal, Jupiter beinahe 28mal, Saturn über 90mal und Uranus beinahe 365mal weniger Helligkeit als die Erde.

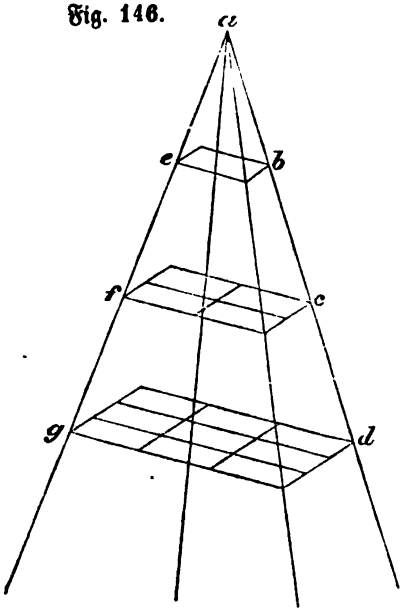
Die Richtigkeit des angeführten Gesetzes von der Abnahme der Beleuchtung kann man dadurch inne werden, daß man zwischen eine Wand und eine Lampe ein Brett, ein Kartenblatt oder dergleichen hält, in welches eine Oeffnung eingeschnitten ist. Durch diese Oeffnung fällt das Lampenlicht



Digitized by Google

auf die Wand, und beleuchtet einen gewiſſen Raum, z. B. einen Quadratzoll, derſelben. Entfernt man nunmehr die Wand noch einmal ſo weit von der Lampe, ſo findet ſich, daß der jetzt erleuchtete Raum viermal größer iſt, als er zuerſt war, alſo z. B. vier Quadratzoll groß iſt, und da durch die Oeffnung im Brett noch immer dieſelbe Lichtmenge geht, die vorher einen Quadratzoll erleuchtete, ſo muß auch die Erleuchtung viermal ſchwächer geworden ſeyn. Bringt man die Wand in eine dreifache Entfernung von der Lampe, ſo wird man finden, daß der jetzt erleuchtete Raum neunmal größer iſt, als er in der einfachen Entfernung war, daß mithin dieſelbe Lichtmenge, auf einen neunfach größern Raum vertheilt, auch eine neunfach ſchwächere Erleuchtung gibt.

Fig. 146.




Auch durch Zeichnungen kann man ſich von der Richtigkeit dieſes Geſetzes überzeugen. Denkt man ſich z. B. in a (Fig. 146) einen leuchtenden Punkt, der in der Entfernung ab eine Fläche eb erleuchtet, ſo wird in der Entfernung ac, welche noch einmal ſo groß als ab iſt, das Licht auf eine Fläche fc vertheilt, und da dieſe Fläche vier ſolcher Flächen, wie eb iſt, enthält, ſo muß auch die Erleuchtung viermal ſchwächer ſeyn. In der Entfernung ad, welche dreimal ſo groß als ab iſt, vertheilt ſich das Licht auf neun ſolcher Flächen wie eb iſt, und wird dadurch auch neunmal ſchwächer.

Mathematik-Verſtändige können mit Hülfe einiger leichten geometriſchen Sätze das Geſetz noch gründlicher erforſchen. Es ſey a (Fig. 148) ein leuchtender Punkt. In einer Entfernung von demſelben = ab erleuchte er irgend eine auf ab ſenkrecht ſtehende Ebene bcd. Hiernach entſteht eine Strahlenpyramide, deren Grundfläche bcd und deren Spitze in a iſt. In einer andern beliebigen Entfernung ae erleuchte er eine Ebene efg, die mit bcd parallel iſt. Weil nun bcd kleiner als efg iſt, ſo wird das aus a kommende Licht in bcd dichter als in efg ſeyn, und zwar in dem Verhältniß, in welchem efg größer als bcd iſt. Setzt man die Stärke des Lichts in bcd = m, und in efg = n, ſo hat man die umgekehrte Proportion:

$$m : n = efg : bcd.$$

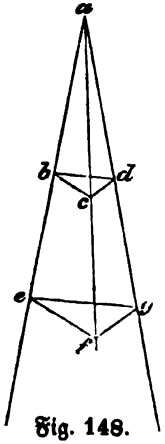



Fig. 148.

Weil aber efg und bcd parallele Durchſchnitte einer Pyramide, alſo ähnlich ſind, ſo verhalten ſie ſich auch wie die Quadrate ihrer gleichliegenden Seiten, alſo auch:

$$m : n = ef^2 : bc^2$$

Nun iſt aber ef mit bc parallel, folglich auch Tr. aef ähnlich Tr. abc, daher iſt:

$$ef : bc = ae : ab$$

$$\text{und } ef^2 : bc^2 = ae^2 : ab^2$$

$$\text{alſo } m : n = ae^2 : ab^2$$

d. h. die Erleuchtung verhält ſich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Digitized by Google

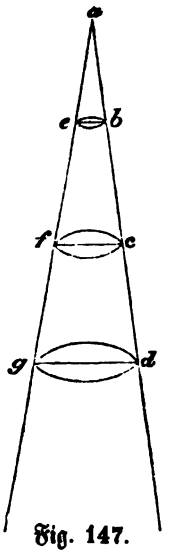


Fig. 147.

Ist die erleuchtete Ebene kreisförmig (Fig. 147), so entsteht ein Strahlenkegel. Daß auch hier das Gesetz wieder gilt, läßt sich leicht einsehen, wenn man bedenkt, daß die erleuchteten Flächen wie das Quadrat der Durchmesser sich verhalten, nämlich wie $eb^2$, $fc^2$ und $gd^2$. Da nun die Tr. aeb, afc und agd ähnlich sind, so verhält sich:

$$eb^2 : fc^2 = ae^2 : af^2$$
$$\text{und } eb^2 : gd^2 = ae^2 : ag^2.$$

Nun ist aber die Stärke der Erleuchtung am größten auf die Fläche, deren Durchmesser am kleinsten ist, und verhält sich demnach umgekehrt wie die Quadrate dieser Durchmesser, also auch umgekehrt, wie $ae^2 : af^2$ und wie $ae^2 : ag^2$.

Fallen aber die Lichtstrahlen nicht senkrecht, sondern schief auf eine Fläche, so wird die Beleuchtung auch dadurch geschwächt, daß viele Strahlen, welche die senkrechte Fläche getroffen haben würden, die schiefe nicht mehr treffen. Viele Lichtstrahlen, welche die senkrechte Fläche ab (Fig. 149) treffen, gehen über die schiefen Flächen ac und ad weg. Diese bekommen nur so viel Licht, als die senkrechte Fläche cf und dg empfängt. Da nun cf der Sinus von mac und dg der Sinus von mad, ab aber der Halbmesser oder Sinustotus ist, so verhält sich die Beleuchtung einer schiefen Fläche zu der einer senkrechten, bei gleicher Entfernung von dem leuchtenden Punkte, wie der Sinus des Neigungswinkels zum Sinustotus, oder überhaupt wie die Sinuse der Neigungswinkel sich verhalten.

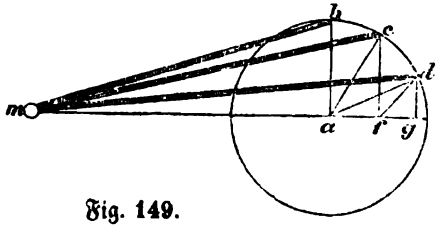


Fig. 149.

Da die Stärke des Lichts nach dem Quadrat der Entfernung von dem leuchtenden Punkt abnimmt, so läßt sich hieraus einsehen, warum das Licht der Fixsterne am Tage nicht wahrgenommen wird, obgleich sie hellglänzende und große Sonnen sind. Ist auch ein solcher Fixstern einer der nächsten, so ist er doch wenigstens 206000mal weiter von der Erde als die Sonne entfernt, und die Erleuchtung, die er auf die Erde niederstrahlt, ist demnach wenigstens 42436 Millionen Mal schwächer als das Tageslicht, gegen welches sie daher verschwinden muß. Indessen hängt die Stärke des Lichts keineswegs von der Entfernung und der Lage der erleuchteten Ebene allein ab. Auch die innere Lichtstärke des leuchtenden Punktes, seine Lage, so wie das Mittel, durch welches die Lichtstrahlen auf die Ebene gelangen, haben auf die Stärke des Lichts einen wesentlichen Einfluß. Geht die Beleuchtung nicht von einem bloßen Punkt, sondern, wie dieses in der Wirklichkeit der Fall ist, von einem leuchtenden Körper aus, so hängt die Stärke des Lichts auch noch von der Größe dieses Körpers ab. Daß aber das Gesetz von der Abnahme der Lichtstärke nach dem Quadrat der Entfernung auch von einem leuchtenden Körper, was auch seine Gestalt und Größe sey, gelten müsse, geht schon daraus hervor, weil es von jedem einzelnen Punkt des leuchtenden Körpers gilt.

§ 193. (Schatten.) Das Grundgesetz der ganzen Optik, daß die Lichtstrahlen nur in gerader Linie sich verbreiten, führt von selbst darauf, daß das Licht, welches von einem leuchtenden Körper auf einen dunkeln, undurchsichtigen Körper fällt, nur den Raum erleuchten kann, der dem Lichte zugekehrt ist. Daher muß hinter jedem undurchsichtigen Körper

Digitized by Google

allemal ein Raum vorhanden seyn, in welchen kein Licht des leuchtenden Körpers fallen, und von wo aus man eigentlich auch den leuchtenden Körper nicht gerade durch sehen kann. Dieser Raum wird der Schatten genannt, der sich also von der Dunkelheit oder Finsterniß dadurch unterscheidet, daß bei dieser eine gänzliche Abwesenheit des Lichts vorausgesetzt wird. Befindet sich hinter dem Schattenraum ein zweiter undurchsichtiger Körper, so wird auf ihn der Durchschnitt des Schattenraums sichtbar, und nur dieser sichtbare Durchschnitt ist es, an welchen man in der Regel denkt, wenn von einem Schatten die Rede ist. In so fern man aber nicht nur diesen Durchschnitt, den man auch den Schlagschatten nennt, sondern den ganzen Schattenraum mit dem Namen Schatten belegt, läßt sich allemal der Theil dieses Raumes, in welchen gar kein Licht fallen kann, und den man den Kernschatten oder vollen Schatten nennt, von dem Theil des Raumes unterscheiden, der mehr oder weniger Licht empfängt, und in welchem man einen größern oder geringern Theil des leuchtenden Körpers wahrnehmen kann. Dieser Raum wird dann der Halbschatten genannt. Bei einem bloß leuchtenden Punkt würde allemal ein scharf begränzter Kernschatten hinter dem undurchsichtigen Körper entstehen. Wäre demnach mn (Fig. 150) ein senkrecht aufgerichteter undurchsichtiger Stab, und s nur ein leuchtender Punkt, so würde der Raum mnh ein scharf abgegränzter Kernschatten seyn. Ist aber s ein leuchtender Körper, so geht der Schattenraum mnh aus dem Kernschatten in den Halbschatten über, allmählig, ohne scharfe Abgränzung, bis endlich die immer blasser werdenden Streifen des Halbschattens sich wieder in volles Licht verlieren.

Fig. 150.

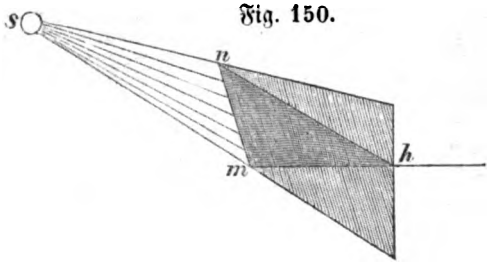



Fig. 151

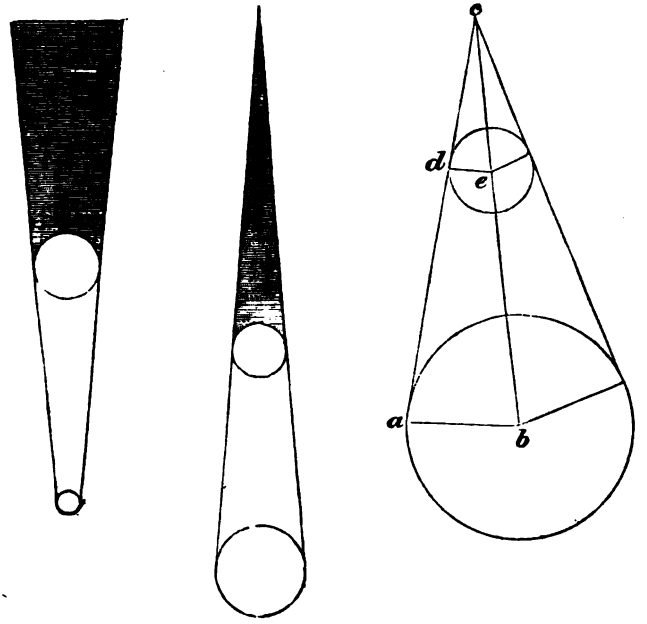
Die Größe, Lage und Gestalt sowohl des Kern- als Halbschattens läßt sich aber mathematisch bestimmen, und richtet sich nach der Größe, Lage und Gestalt des leuchtenden und des dunkeln Körpers, nach ihrer Entfernung von einander, und nach der Lage und Gestalt der Fläche, welche den Schlagschatten auffängt. Der gerade Schlagschatten d. i. der Schatten, den ein senkrecht stehender Körper auf eine horizontale Fläche wirft, und der umgekehrte Schlagschatten, d. i. der Schatten, den ein horizontaler Körper auf eine lothrechte Fläche wirft, hat in der Regel die Umrisse des dunkeln Körpers. Sind aber der leuchtende und dunkle Körper kugelförmig, so hängt die Gestalt des Schattens von der Größe der Kugeln ab. Sind beide Kugeln gleich groß, so ist der Schatten cylinderförmig (Fig. 151), und geht, in so fern ihm nichts entgegensteht, ohne Ende fort, da sein Durchmesser in diesem Falle immer derselbe bleibt. Dieses würde eintreten, wenn ein Planet mit der Sonne, die ihn erleuchtet, von gleicher Größe wäre, und dessen Schatten in den leeren Himmelsraum fiele. Bei ungleicher Größe der beiden Kugeln wird die Gestalt des Schattens kegelförmig. Ist die dunkle Kugel größer als die leuchtende, so

Digitized by Google

nimmt der Durchmesser des Schattens immer zu, je weiter er fortgeht. Daher auch dieser Schatten im leeren Raum nie zu Ende gehen kann; es zeigt sich dann nie des Kegels Spitze, und die Gestalt des Schattens ist eigentlich becherförmig (Fig. 152). Ist aber der dunkle Körper kleiner als der leuchtende, so nimmt der Durchmesser des Schattens immer ab, und endigt zuletzt in eine Spitze, wird demnach zum vollkommenen Kegel (Fig. 153). Die Größe dieses Schattens läßt sich aus der verhältnißmäßigen Größe der Halbmesser der beiden Kugeln und ihrem Abstand berechnen. Einen solchen Schatten wirft die Erde, werfen alle andere Planeten und Monde, wenn sie der Sonne gegenüber stehen.

Es sey (Fig. 154) ab = R der Halbmesser der einen Kugel, de = r, parallel

Fig. 152. Fig. 153. Fig. 154.




mit ab, der Halbmesser der andern Kugel; be = m sey die Entfernung der Mittelpunkte beider Kugeln, und ec = l sey die zu bestimmende Länge des Schattens, so ist wegen Aehnlichkeit der Tr. cab und cde

$$\begin{aligned} &ab : bc = de : ec \\ \text{oder } &R : bc = r : ec \\ \text{oder } &R - r : bc - ec = r : ec \\ \text{oder } &R - r : be = r : ec \\ \text{oder } &R - r : m = r : l \\ \text{also } &l = \frac{mr}{R - r} \end{aligned}$$

Beispiel. Es sey R der Sonnenhalbmesser = 94000 Meilen, r der Erdhalbmesser = 860 Meilen, und der Abstand der Sonne von der Erde = 24000 Erdhalbmesser, so ist die Länge des Erdschattens, oder

$$l = \frac{24000 \times 860}{94000 - 860} \times 860 = 190576 \text{ Meilen},$$

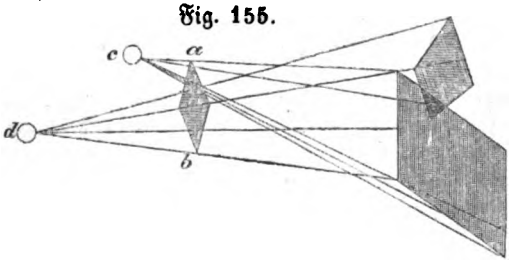
Digitized by Google

wofür man, da der Erdhalbmesser eigentlich nur 859,3 ist, etwa 190000 Meilen annehmen kann, oder gewöhnlich nur 186000 Meilen. Da nun der Mond nur 51000 Meilen von der Erde absteht, so kommt er oft in den Erdschatten, und wird, unter den erforderlichen Bedingungen, verfinstert werden.

Bewegt sich der leuchtende oder der dunkle Körper, so bewegt sich auch der Schatten, aber er bewegt sich in entgegengesetzter Richtung, wenn der leuchtende Körper sich bewegt. Hierauf gründet sich das chinesische Schattenspiel (ombres chinoises), so wie der Gebrauch der Sonnenuhren, deren Verfertigung ein eigner Theil der angewandten Mathematik, den man die Gnomonik nennt, gewidmet ist. Auch kann vermittelst des Schattens die Höhe eines Körpers gemessen werden. Denn gesetzt, man wollte z. B. auf diese Weise die Höhe eines Thurms messen, so dürfte man ja nur einen Stab von beliebiger Höhe lothrecht in gleicher Richtung mit der Grundlinie der vor sich habenden Thurmfläche in die Erde stecken, dessen Schlagschatten und den Schlagschatten des Thurms messen. Da nun auch die Höhe des Stabes selbst bekannt ist, so kann man aus diesen drei bekannten Stücken das vierte unbekannte, welches die Höhe des Thurms ist, leicht berechnen. Schon vor zwei Jahrtausenden bediente sich Thales von Miletus in Jonien, einer der Weisen Griechenlands, dieser Methode, um die Höhen der ägyptischen Pyramiden zu messen. Am besten können aber dergleichen Messungen vorgenommen werden, wenn die Sonne am höchsten steht (45 Grad über dem Horizont ist), d. i. zur Mittagszeit, weil da die Schlagschatten so lang als die Körper selbst sind.

Interessant sind auch die Versuche, die man, mittelst des Schattens, zur Vergleichung der Lichtstärke zweier leuchtenden Körper anstellen kann. Ist nämlich ab (Fig. 155) ein Brett oder sonst irgend ein undurchsichtiger Körper, vor welchem zwei leuchtende Körper c und d stehen, und hinter welchen eine weiße Wand angebracht ist, auf welche die Schlagschatten des dunkeln Körpers fallen, wenn er von c und d aus senkrecht erleuchtet wird, so wird der Schatten, der von c herrührt, durch d, und der, so von d herrührt, durch c beleuchtet. Nun rückt man die leuchtenden Körper so lange hin und her, bis beide Schlagschatten gleich stark beleuchtet werden, und hat man dieses erreicht, so mißt man die Entfernung eines jeden leuchtenden Körpers von der weißen Wand. Wie sich die Quadrate dieser Entfernungen verhalten, so verhält sich auch die Lichtstärke der leuchtenden Körper. Ist z. B. d viermal so weit als c von der weißen Wand weg, so ist auch die Lichtstärke von d sechzehnmal größer als die von c. Durch ein ähnliches Verfahren haben mehrere Physiker die Lichtstärke der Sonne und des Mondes mit einander verglichen. Da die unmittelbare Vergleichung der Lichtstärke dieser beiden Himmelskörper nicht angeht, so verglich man die Lichtstärke eines jeden besonders mit der Lichtstärke einer und derselben Lichtflamme. Um das Sonnenlicht so zu schwächen, daß es eine Stelle der weißen Wand nicht stärker als die Lichtflamme erleuchte, läßt man es durch ein kleines Hohlglas, welches die Eigenschaft hat, das durchgehende

Fig. 155.




Digitized by Google

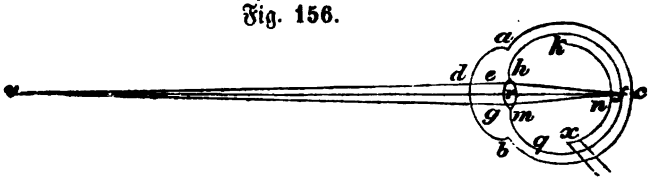
Licht in einen großen Raum zu zerstreuen, in ein ganz verfinstertes Zimmer fallen. Auf dieselbe Weise kann man zur Nachtzeit mit dem Vollmonde es machen, wenn er zu derselben Höhe gelangt ist, wo am Tage, als man den Versuch machte, die Sonne stand, und dessen Lichtstärke ebenfalls mit der der Lichtflamme vergleichen. Aus diesen Versuchen hat sich dann ergeben, daß das Sonnenlicht etwa dreihunderttausendmal so stark als das Mondlicht seyn müsse, daß also erst 300000 Vollmonde ein Licht geben würden, welches dem Tageslicht gleich komme. Die Instrumente, deren man sich bedient, um die relative Lichtstärke zweier leuchtenden Körper zu vergleichen, werden Photometer oder Lichtmesser genannt. Man hat deren von verschiedener Einrichtung, wie z. B. das Photometer von Rumford, von Ritchie u. A., alle aber beruhen auf der Beleuchtung zweier Schlagschatten durch einen jeden der leuchtenden Körper, und deren Entfernung von der erleuchtenden Fläche.

§ 194. (Sehen.) Sehen zu können, hat die Natur dem thierischen Körper das Auge verliehen. Wie aber diese große Meisterin keine Gabe spendet, die nicht vollkommen dem Gebrauch, der davon gemacht werden soll, zu entsprechen vermag, so ist dieses auch mit dem Auge der Fall. Nicht nur die sechs Klassen des Thierreichs, die Säugethiere, die Vögel, die Amphibien, die Fische, die Insekten und die Würmer, sondern selbst die einzelnen Gattungen, ja die einzelnen Arten einer jeden Gattung haben, in so fern sie des Auges bedürfen, es ganz verschieden, nach Maßgabe ihres Aufenthalts und ihrer Bedürfnisse, eingerichtet bekommen. Die Bildung dieses Organs ist daher von Natur aus höchst mannigfaltig. Was insbesondere das menschliche Auge betrifft, in dessen wundervollem Ring die ganze Schöpfung sich abmalet, so sind zwar dessen einzelne Theile, in ihrer Gestaltung und Zusammenfügung, von der Zergliederungskunst mit vorzüglicher Genauigkeit untersucht und geordnet worden, allein um das, was bei dem Sehen im menschlichen Auge, von dem allein hier die Rede ist, vorgeht, gehörig zu begreifen, muß man eigentlich von der Bildung der Farben, besonders aber von der Brechuug der Lichtstrahlen in geschliffnen Gläsern, erst einige Kenntnisse besitzen. Streng genommen, sollten also diese Lehren der Beschreibung von der Einrichtung und dem Gebrauch des Auges voranstehen, der bessern und leichtern Verständlichung vieler optischen Gegenstände wegen, wird hier jedoch eine vorläufige Angabe von den Verrichtungen des Auges, wenn auch nur erzählend, und ohne nähern Beweis, bei welchem es ohnehin nicht ohne Lücken abgeht, nicht am unrechten Orte stehen.

Das ganze Auge des Menschen, der Augapfel, besteht aus einem häutigen Behältniß, das fast kugelförmig ist. Es liegt in einem weichen Lager fettiger Feuchtigkeiten, kann durch einige Muskeln nach allen Richtungen leicht bewegt werden, und ist von außen durch die häutigen Augenlieder, die haarigen Augenwimpern und Augenbraunen sorgfältig verwahrt. Eine weiße undurchsichtige und hornartige Haut acb (Fig. 156) dient dem Augapfel zur äußersten Bekleidung, und wird die weiße Hornhaut genannt. Der vordere Theil dieser Haut, eine gekrümmte Erhebung adb als scheinbare Fortsetzung bildend, ist völlig durchsichtig, und wird daher die durchsichtige Hornhaut genannt. Unter der weißen Haut liegt eine andere dunkelfarbige Haut hfm, die Aderhaut genannt. Eine scheinbare Fortsetzung der Aderhaut ist die Regenbogenhaut oder Iris hegm; diese liegt unter der durchsichtigen

Digitized by Google

Fig. 156.




Hornhaut, und besteht aus einem Ringe, der nicht bei allen Menschen von einerlei Farbe ist, nach dessen Farbe man auch ein Auge bezeichnet; daher gibt es blaue, schwarze, braune, graue und grünliche Augen. Die innere runde Oeffnung in der Iris nennt man die Pupille (die Lichtöffnung, die Sehe, das Lichtloch). Die innerste Haut des Auges kq, welche unter der Aderhaut liegt, schleimig und nervös ist, wird die Netzhaut oder Retina genannt. Hinter der Iris liegt ein linsenförmiger, eierweißähnlicher, mehr fester als flüssiger Körper r, der sehr durchsichtig ist. Diesen Körper nennt man die Krystall-Linse. Das Innere des Auges wird durch die Krystall-Linse in zwei ungleiche Abtheilungen, die man Kammern nennt, getheilt. Beide Kammern sind mit durchsichtigen Materien, die man Feuchtigkeiten nennt, angefüllt. Die Vorderkammer, welche die kleinere ist, enthält den Raum zwischen der Hornhaut und der Iris, und zwischen der Iris und der Krystall-Linse. Die durchsichtige Materie dieser Kammer wird die wässerige Feuchtigkeit genannt, ist auch wirklich an Flüssigkeit und Dichtigkeit dem Wasser ähnlich, verdunstet durch die Hornhaut, die durch diese Feuchtigkeit in ihrem erhabenen Zustand erhalten wird, und wird, wenn sie aus dem Auge ausfließt, immer wieder ersetzt. Die Hinterkammer, welche die größere ist, enthält den Raum zwischen der Krystall-Linse und dem Hintergrund des Auges. Die durchsichtige Materie dieser Kammer wird die gläserne Feuchtigkeit genannt, und besteht aus einer höchst durchsichtigen Gallerte.

Deutlicher, als es durch Zeichnung möglich ist, kann man diese Theile des Auges und ihre Lage gegen einander schon an einem Rindsauge wahrnehmen, wenn es zergliedert, oder gefroren durchschnitten wird. Auch hat man elfenbeinerne Augenmodelle, welche dazu dienen, die Lage der Augentheile kennen zu lernen.

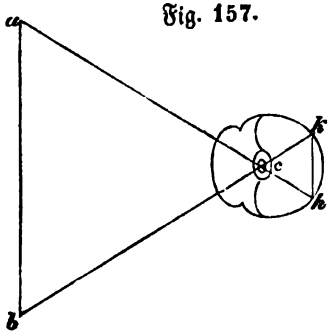
Um nun zu begreifen, wie mittelst des Auges das Sehen entsteht, muß man Folgendes bedenken: Jeder Punkt v (Fig. 156) eines Körpers, es mag dieser ein selbstleuchtender oder ein dunkler und erleuchtender Körper seyn, sendet durch die Schwingungen der Aethertheilchen nach allen Seiten Strahlen aus. Von den Strahlen, die das Auge treffen, geht einer vn senkrecht durch die Pupille nach der Netzhaut, wo er den Punkt n trifft, und so die Stelle bestimmt, wo er im Auge sich abbildet. Dieser Strahl wird die Augenachse genannt. Bei nicht schielendem Auge ist daher der Punkt n der Netzhaut, wo die Empfindung des Sehens am lebhaftesten ist, dem sichtbaren Punkt v gerade zugewendet und senkrecht gegenüber. Alle übrigen Strahlen, die von dem Punkt v schief nach dem Auge kommen, erleiden bei ihrem Durchgang durch die durchsichtige Hornhaut, der wässrigen Feuchtigkeit, der Krystall-Linse und der gläsernen Feuchtigkeit eine mehrfache Brechung. Da das Gesetz von der Brechung der Lichtstrahlen in einem durchsichtigen Mittel vollständig bekannt ist, so läßt sich zeigen, daß alle diese Strahlen, die einen Lichtkegel bilden, dessen Spitze in v und dessen Grundfläche im Auge liegt, in

Digitized by Google

dem Punkt n zusammenlaufen müssen, wenn v sich dort abbilden und gesehen werden soll. Die Netzhaut ist also der eigentliche Sitz für die Empfindung des Sehens, und da sie aus dem Mark der Sehnerven, der bei x in den Augapfel tritt, entspringt, so wird durch sie das Bild des Gegenstandes dem Gehirne zugeführt. Das Haupterforderniß zur Wahrnehmung eines Punktes, von welchem Lichtstrahlen zum Auge gelangen, ist also dieses, daß alle diese Strahlen ihren Vereinigungspunkt in der Netzhaut haben. Vereinigen sie sich aber schon im Auge, ehe sie die Netzhaut treffen, oder liegt der Vereinigungspunkt derselben erst hinter der Netzhaut, so werden die auf sie fallenden Lichtstrahlen in beiden Fällen auseinanderfahrend seyn, und dadurch die Abbildung des Punktes v undeutlich werden.

Was von einem einzigen sichtbaren Punkte gilt, läßt sich ferner auch auf einen sichtbaren Körper anwenden. Von jedem Punkt des sichtbaren Gegenstandes gehen Strahlen nach dem Auge, welche, in so fern sie auf die Netzhaut sich vereinigen, den ganzen Gegenstand darauf abbilden und so dessen Wahrnehmung gewähren. Dieses Bild ist zwar sehr scharf, zugleich aber auch, wie es nicht anders möglich ist, viel kleiner als der Gegenstand selbst, und hat auf der Netzhaut eine solche Lage, welche in Beziehung auf die Lage des Gegenstandes verkehrt genannt werden muß, so daß der oberste Endpunkt des Gegenstandes im Bilde auf der Netzhaut zum untersten Endpunkt wird, und umgekehrt. Wenn z. B. ab (Fig. 157) den sichtbaren Gegenstand bedeutet, so ist dessen Abbildung auf der Netzhaut so, daß der obere Endpunkt a unten in h und der untere Endpunkt b oben in k liegt, mithin hat das Bild eine verkehrte Lage.

Fig. 157.




So wie die Einrichtung des Auges im Ganzen höchst bewunderungswürdig ist, so ist dieses auch mit der Einrichtung einzelner Theile desselben der Fall. Die Pupille, durch welche alles Licht in das innere Auge gelangt, besitzt die wunderbare Eigenschaft, sich von selbst, ohne unsere Mitwirkung, zu verengern und zu erweitern. Sie verengert sich, wenn man aus einem schwachen Lichte in ein stärkeres kommt, z. B. aus einem düstern Zimmer an einen hellen Ort tritt. Die gütige Natur, die Alles, was sie gibt, vollkommen gibt, hat dadurch verhütet, daß ein zu schneller Lichtreiz das Auge blende. Tritt man aus einem starken Lichte in ein schwächeres ein, so wird im Gegentheil die Pupille erweitert, wodurch dann mehr Licht in das Auge gelangt, und die Sehkraft erhöht wird. Menschen, und mancherlei Thiere, deren Pupille von Natur aus sehr weit ist, können daher auch bei Nacht gut sehen, wenig oder nichts aber am hellen Tage, weil dann zu viel Licht durch die Pupille in das Auge dringt, und es blendet. Indessen geschieht diese Verengerung und Erweiterung nicht auf eine plötzliche Weise, sondern allmählich. Darum sieht man auch, wenn man schnell aus einem sehr hellen Ort an einen viel dunkleren kommt, einige Augenblicke lang fast gar nichts, indem die Pupille sich nicht eben so schnell erweitert, und daher für den dunkeln Ort vorerst noch zu klein ist. Dasselbe ist auch der Fall, wenn man aus einem dunkeln Ort schnell an einen viel hellern gelangt; einige Augenblicke lang sieht man geblen-

Digitized by Google

bet, weil durch die noch zu weite Pupille zu viel Licht in das Auge gelangt.

Der Erfahrung gemäß gibt es aber für jedes Auge eigene Gränzen, die man die Entfernung des deutlichen Sehens nennt, innerhalb welcher es die Gegenstände mit hinreichender Schärfe sieht. Im Durchschnitt, aber freilich unter vielen Ausnahmen, nimmt man dafür die Entfernung von 8 bis 10 Zoll an, während das eigentliche deutliche Sehen sich auf eben so viel Fuß erstrecken kann, als das scharfe an Zoll beträgt. Ein Auge, dessen Entfernung für das deutliche Sehen nur ein paar Zoll beträgt, heißt kurzsichtig (myops), und weitsichtig (presbyta) wird es genannt, wenn dessen Entfernung des deutlichen Sehens merklich weiter als etwa 10 Zoll reicht. Bei einem kurzsichtigen Auge vereinigen sich die Lichtstrahlen entfernter Gegenstände vor der Netzhaut, und können demnach nicht mehr wahrgenommen werden. Bei einem weitsichtigen Auge liegt dagegen der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen naher Gegenstände hinter der Netzhaut, wodurch also dieses Auge zu nahe Gegenstände nicht wahrnehmen kann. Ein gutes Auge, welches nahe und ferne Gegenstände gut sehen kann, muß also fähig seyn, solche Veränderungen zu erleiden, daß jedesmal, sowohl von einem nahen als entfernten Gegenstand, das Bild auf die Netzhaut, und nicht davor oder dahinter, zu liegen komme. Man nennt dieses das Accomodationsvermögen. Daß die Natur in der That dafür gesorgt und dem Auge diese Fähigkeit wirklich verliehen habe, ist nicht zu bezweifeln, da es der Erfahrung nach richtig ist, daß bei Betrachtung sehr naher und sehr entfernter Gegenstände das Auge sich dermaßen anstrengen muß, daß man diese Anstrengung fühlt. Allein durch welches Kunststück sie dieses bewirkt, darüber sind die Meinungen getheilt, da die große Künstlerin es nicht für gut fand, ihr Geheimniß kund zu geben. Einige glauben, daß die Krystall-Linse bei Betrachtung eines nahen Gegenstandes etwas weiter von der Netzhaut wegrücke, oder, was der Wirkung nach dasselbe leistet, eine erhabenere Gestalt annehme, so wie sie im Gegentheil bei Betrachtung eines entfernten Gegenstandes sich der Netzhaut nähere, oder, was wiederum dasselbe leistet, eine flachere Gestalt erhalte. Andere sind der Meinung, daß dieses durch die Krümmung der durchsichtigen Hornhaut bewirkt werde. Bei der Betrachtung eines nahen Gegenstandes krümme sich diese Haut stärker, und werde flacher bei Betrachtung eines entfernten Gegenstandes. Durch die stärkere Krümmung der Hornhaut falle das Bild eines nahen Gegenstandes, dessen Lichtstrahlen hinter die Netzhaut zu liegen kämen, wieder auf die Netzhaut, und durch die nachlassende Spannung falle das Bild eines fernen Gegenstandes, dessen Lichtstrahlen vor der Netzhaut sich vereinigen würden, wiederum auf diese Haut hin. Vier im Auge befindliche gerade Muskeln scheinen auch in der That die Bestimmung zu haben, diese Veränderung der Hornhaut zu bewirken, dadurch, daß sie, je nachdem man in die Nähe oder Ferne sieht, mehr oder weniger angespannt werden. Möglich ist es auch, daß die Recht haben, welche der Meinung sind, daß bei Betrachtung naher und entfernter Gegenstände mehr als eine Veränderung im Auge vorgehe. Ausgemacht ist es, daß man einem sonst gesunden Auge Kurzsichtigkeit oder Weitsichtigkeit angewöhnen kann. Das Auge hat mit allen übrigen Organen das gemein, daß es durch Uebung gestärkt, durch Mangel an Uebung geschwächt wird. Ein geschickter Tonkünstler muß ein geübtes Ohr haben, und so muß ein gesundes

Digitized by Google

Auge, das in der Nähe und Ferne deutlich sehen soll, von Jugend auf geübt worden seyn. Menschen, deren Geschäft es erfordert, viel in die Ferne und weniger in die Nähe zu sehen, z. B. Jäger, sind gewöhnlich weitsichtig; andere, bei denen der Fall umgekehrt ist, wie bei solchen, die viel zu schreiben, zu lesen, zu zeichnen oder sonst Arbeiten zu verrichten haben, die nur zum nahen Sehen sich eignen, wie Uhrmacher u. s. w., sind in der Regel kurzsichtig. Im Alter, wo die Säfte mehr vertrocknet sind, der Augapfel dadurch zusammengezogen und die Krystall-Linse flacher geworden ist, überhaupt auch alle Muskeln steifer werden, tritt gewöhnlich der Fehler der Weitsichtigkeit ein, indem alsdann das Bild naher Gegenstände hinter die Netzhaut fällt.

Bedenkt man aber, daß die ganze Einrichtung des körperlichen Auges im Grunde doch nur von der Art ist, daß durch dasselbe eigentlich bloß die Richtung der Lichtstrahlen und deren Farben zur Wahrnehmung kommen, so bleibt immer noch zu beantworten übrig: wie die Seele durch das Bild auf der Netzhaut, welches nur Phantom ist, so gerührt werde, daß sie nicht dieses Bild, sondern den eigentlichen Gegenstand außer dem Auge empfindet und seiner vollkommen sich bewußt wird. Daß diese an und für sich ganz unläugbare Thatsache keine Folge eines körperlichen Auges seyn kann, versteht sich von selbst, da man sonst auf die sonderbare Annahme verfallen müsse, daß die Seele wieder ein Auge habe, mit welchem sie jenes Bild auf der Netzhaut etwa so betrachte, wie man einen Gegenstand im Schlagschatten sieht. Man muß daher den Grund dieser wundervollen Erscheinung in der eigenthümlichen Beschaffenheit des Vorstellungsvermögens, in dem unbegreiflichen Spiel der Einbildungskraft, in der geheimnißvollen Verknüpfung zwischen Seele und Körper suchen, durch welche überhaupt jede Wahrnehmung vermittelst der Sinne in eine geistige Empfindung übergeht, in ein Bewußtseyn durch schnelle Beurtheilung, die zwar durch tägliche Uebung erzeugt wird, deren Vermischung mit dem Wahrgenommenen aber einen so innigen Zusammenhang hat, daß das Wie ein undurchdringliches Geheimniß ist.

Hält man diese Betrachtung fest, so beantwortet sich die Frage: wie es zugehe, daß man die Gegenstände in der Lage sehe, wie sie in der Wirklichkeit ist, da doch das Bild derselben auf der Netzhaut verkehrt steht, leicht von selbst. Hätte die Seele ein zweites Auge, durch welches sie das Bild auf der Netzhaut betrachtete, dann freilich ließe sich die Möglichkeit denken, daß die Gegenstände verkehrt sich darstellen könnten. Da aber das eigentliche Sehen, das Sehen mit Bewußtsein, obgleich es durch das Bild auf der Netzhaut angeregt wird, doch nicht in der Beschauung dieses Bildes, sondern durch ein unbegreifliches Spiel der Einbildungskraft in der Beschauung des wirklichen Gegenstandes außer uns besteht, so ist es sehr natürlich, daß man alle Dinge so erblickt, wie sie in der Natur gegen einander liegen, oben, was oben, und unten, was unten ist.

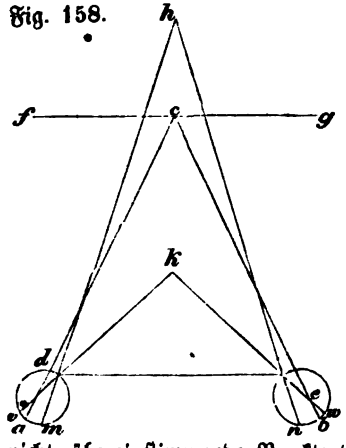
Auch die Frage: wie es zugehe, daß man einen Gegenstand, auf welchen beide Augen gehörig gerichtet sind, nur einfach sehe, da doch in jedem Auge ein Bild davon entsteht, hat viele denkende Köpfe schon beschäftigt und mancherlei Erklärungen veranlaßt. Einige waren der Meinung, man sähe in der That nur mit Einem Auge, das andere sey dabei in Ruhe. Dieses scheint aber darum unrichtig zu seyn, weil es ausgemacht ist, daß man auf jeden Fall einen Gegenstand, den man mit beiden Augen betrachtet, viel lebhafter sieht, als bei der Betrachtung mit einem Auge

Digitized by Google

allein. Andere, zu denen auch Newton gehört, glaubten, es läge dieses darin, daß beide Sehnerven mit einander vereinigt wären. Dieses ist aber anatomischen Beobachtungen zuwider, nach welchen beide Sehnerven wohl an einander anliegen, sich aber nicht mit einander vermischen. Die einfachste Erklärung dieser Erscheinung ist immer noch die, daß mit dem ersten Gebrauch der Augen in dem zartesten Kindesalter vielleicht wirklich ein Doppeltsehen der Gegenstände verbunden seyn mag, das sich aber nach und nach dadurch verliert, weil man, nach einem doppelt gesehenen Gegenstand greifend, bald die Ueberzeugung erhält, daß es nur ein einfacher gewesen war. Hierdurch wird die Seele gewöhnt, den doppelten Eindruck der beiden Netzhäute für einen einzelnen zu nehmen, und die beiden Bilder derselben in dem Bewußtseyn zu verschmelzen. Streng genommen, wissen wir jedoch die Erscheinung, daß man mit beiden Augen einen Gegenstand nur einfach sieht, eben so wenig befriedigend zu erklären, als die, warum man mit zwei Ohren einen Schall nur einfach hört. Indessen sieht man einen Gegenstand nur dann einfach mit beiden Augen, wenn ein und dieselben Punkte des Gegenstandes auf ein und dieselben Punkte der Netzhäute fallen. Ist dieses nicht der Fall, wie z. B. bei'm Schiefsehen, so sieht man in der That den Gegenstand doppelt.

So wird man den Mond, besonders in den Vierteln, am Frühabend doppelt sehen, wenn man, an einem offnen Fenster sitzend, wo man eine etwas freie Aussicht hat, die Nase nach einem entfernten Gegenstand gerichtet hält, und dann ein oder nach Umständen beide Augen etwas schief nach dem Monde richtet. Macht man in ein Kartenblatt zwei feine Oeffnungen, in etwa einer Linie Entfernung von einander, und betrachtet durch dieselben, sie dicht vor das Auge haltend, zwei Nadeln, von denen die eine weiter als die andere vom Auge entfernt ist, so wird man die, welche man genau fixirt, einfach, die andere doppelt sehen. Ueberhaupt erscheinen die Gegenstände doppelt, welche außer dem Horopter liegen. Wenn nämlich (Fig. 158) c ein Punkt ist, nach welchem beide Augenachsen ca und cb sich richten, so wird eine Ebene, welche durch den Punkt c geht und senkrecht auf cde ist, der Horopter genannt. Die Linie fg stellt demnach den Durchschnitt des Horopters vor. Alle Bilder der im Horopter liegenden Gegenstände fallen auf übereinstimmende Stellen in beiden Netzhäuten und man sieht sie deßhalb auch nur einfach. Von einem Punkt h aber, der außer dem Horopter liegt, fallen die Bilder hm und hn an verschiedene Stellen beider Netzhäute, und werden daher doppelt gesehen. Dasselbe gilt auch von dem außer dem Horopter liegenden Punkt k, dessen Bild nach kv und kw fällt, also ebenfalls auf nicht übereinstimmende Punkte der beiden Netzhäute, und der daher auch doppelt erscheint. Wenn demnach beide Augen auf einen Punkt gerichtet sind, der auf einer senkrechten Wand sich befindet, so bildet diese Wand den Horopter. Sieht man zugleich noch einen andern Punkt, der zwischen den Augen und der Wand liegt, so wird dieser doppelt gesehen. Indessen

Fig. 158.

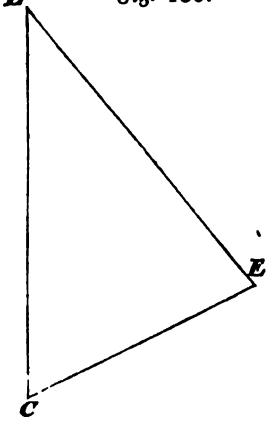



Digitized by Google

ist die Richtung der Augenachsen außer dem Horopter naturwidrig, und daher eine Operation, die den Augen schwer fällt, und die sich auch nur durch vorsätzliches Schielen oder dadurch, daß man eins der Augen etwas drückt, zu Wege bringen läßt. Auch Menschen, die betrunken sind, oder deren Gemüth heftig bewegt ist, oder in einer hitzigen Krankheit liegen, sehen zuweilen die Gegenstände, wie man zu sagen pflegt, mit doppelten Augen an. Einen Versuch über das Doppeltsehen außer dem Horopter kann man mit einem Zirkel aus einem gewöhnlichen Bestecke anstellen. Man öffne einen solchen Zirkel so weit, daß dessen Spitzen weiter als die Pupillen der beiden Augen aus einander stehen. Mit dem Gesichte gegen ein Fenster gestellt, und auf einen entfernten Punkt fest hinsehend, halte man des Zirkels Kopf vor die Nase, und dessen Spitzen etwas aufwärts gerichtet, so wird man zwei Zirkel, die sich durchkreuzen, wahrnehmen. Drückt man, bei unverrückter Stellung und Richtung der Augen, die Schenkel des Zirkels zusammen, so sieht man zuletzt nur einen einzigen Schenkel, der ungeheuer lang zu seyn scheint. Wer den Versuch zum erstenmal macht, wird aber einige Schwierigkeiten bei der Ausführung finden, weil er einige Uebungen erfordert, wenn er gut gelingen soll. Weil wir aber von Jugend auf gewohnt sind, auf die zu betrachtenden Gegenstände naturgemäß hinzusehen, und weil die Gegenstände, welche außer dem Horopter liegen, immer sehr undeutlich sich darstellen, so haben wir auch dann nur einen Gegenstand doppelt vor Augen, wenn dessen Eindruck sehr lebhaft ist.

§ 195. (Parallaxe; Sehewinkel.) Ein jeder entfernte Gegenstand nimmt aber nach Verschiedenheit des Standpunkts, von wo aus er gesehen wird, eine gewisse Stelle ein, welche man seinen optischen Ort nennt. So wird z. B. ein Himmelskörper L (Fig. 159), den man von dem Mittelpunkt C der Erde sieht, in die Richtung CL in das Auge kommen, von der Oberfläche E aus aber in die Richtung EL. Der Winkel CLE, den er hier bildet, wird die Parallaxe genannt. In der Astronomie wird mittelst dieser Parallaxe, die immer desto kleiner wird, je weiter L von E ist, die Entfernung der Himmelskörper von der Erde gemessen. Die Fixsterne haben, wegen ihrer sehr großen Entfernung von der Erde, gar keine Parallaxe.

Fig. 159.




Obgleich aber das Bild eines Gegenstandes in dem Vorstellungsvermögen von dem Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut wesentlich verschieden ist, so hängt doch die Größe, welche man in der Vorstellung einem Gegenstande beilegt, sehr von der Größe des Bildes auf der Netzhaut ab. Da aber die Größe von diesem Bilde selbst wieder von dem Winkel acb (Fig. 157. S. 395) abhängt, so wird auch dieser Winkel, unter welchem die beiden äußersten Lichtstrahlen ac und bc eines Gegenstandes im Auge zusammenlaufen, der Sehewinkel, optischer Winkel, auch scheinbarer Durchmesser, Gesichtswinkel genannt. Von der Größe dieses Winkels hängt demnach die Größe eines Gegenstandes in der Vorstellung ab, welche Größe man daher auch die scheinbare Größe dieses Gegenstandes nennt. Je größer nämlich der Sehewinkel acb ist, desto größer ist auch

Digitized by Google

der ihm gleiche Scheitelwinkel kch, desto größer ist folglich auch kh, oder das Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut. Von der wahren Größe ist also die scheinbare darin sehr verschieden, daß jene sich nur dann verändert, wenn der Gegenstand selbst eine Zu- und Abnahme erleidet, diese aber mit jeder Veränderung des Sehewinkels sich verändert, und daher bloß und allein von der Entfernung abhängt, in welcher der Gegenstand vom Auge sich befindet. Hieraus geht nun hervor, daß ein und derselbe Gegenstand dem Auge bald größer, bald kleiner vorkommen kann. Befindet sich z. B. (Fig. 160) das Auge in c, so sieht es den Gegenstand ab unter dem Winkel x, in d sieht es ihn unter dem Winkel v, in e unter dem Winkel m. Da nun in der Geometrie bewiesen wird, daß der Winkel x größer als v, und dieser wieder größer als m seyn muß (Euklid's Elemente, erstes Buch, 21. Satz), so muß auch die scheinbare Größe von ab in c am größten und in e am kleinsten für diese drei Standpunkte des Auges seyn. Je weiter demnach ein Gegenstand vom Auge weg ist, desto kleiner muß er ihm erscheinen. Wie sehr dieses der Erfahrung gemäß ist, läßt sich durch viele Beispiele darthun, die Jeder sich selbst zu machen eine Menge Veranlassungen findet. Wird der Sehewinkel gar zu klein, so verschwindet der Gegenstand. In der Regel nimmt man an, daß dieses für einen Winkel, der kleiner als 40 Sekunden ist, der Fall sey. Stellt man sich vor, daß die geraden Linien ae und eb (Fig. 160), welche von dem Auge in e bis zu den Endpunkten a und b des Gegenstandes gehen, Halbmesser eines Kreises sind, der seinen Mittelpunkt in e habe, so findet man, wenn man den ganzen Umkreis, der bekanntlich 360 Grad, oder, da ein Grad 3600 Sekunden hat, 1296000 Sekunden hält, daß der Sehewinkel m, in so fern er auf einem Bogen von 40 Sekunden steht, einen Theil der Peripherie abschneidet, welcher den 32400sten Theil derselben enthält, wenn man nämlich 40 in 1296000 dividirt. Da nun der Halbmesser ae der $\frac{1}{32400}$ste Theil der ganzen Peripherie ist, so ist er im Verhältniß zu dem 32400sten Theil derselben 32400mal $\frac{1}{32400}$ oder beinahe 5160mal größer. Daher sagt man, daß ein Gegenstand nicht mehr gesehen werde, wenn der Sehewinkel nicht über 40 Sekunden betrage, oder, was dasselbe ist, wenn die Entfernung des Gegenstandes vom Auge über 5000mal größer ist, als der scheinbare Durchmesser des Gegenstandes. Indessen ist dieses nur in Beziehung auf den Sehewinkel richtig, und darum auch nur unter Ausnahmen, indem die Sichtbarkeit eines Gegenstandes von noch anderen Bedingungen mit abhängt. Hierher gehört, daß außer der verschiedenen Schärfe des Gesichts, wodurch allein schon das allgemeine Gesetz von der Abnahme der Sichtbarkeit beschränkt wird, ein Gegenstand desto sichtbarer ist, je stärker er

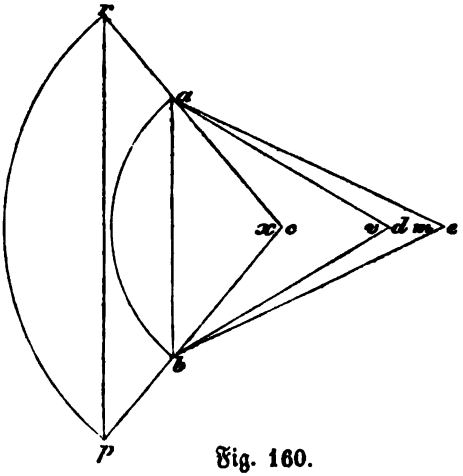


Fig. 160.

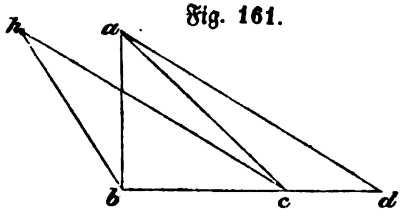
Digitized by Google

glänzt, und je mehr sein Licht gegen das Licht des Hintergrundes absticht, auf welchem er sich zeigt. Ein sehr glänzender Gegenstand, der auf einen dunkeln Hintergrund fällt, kann selbst unter einem Sehewinkel, der noch nicht einmal eine einzige Sekunde beträgt, sichtbar seyn. Dieses ist z. B. bei den Fixsternen der Fall, deren Entfernung von der Erde so ungeheuer groß ist, daß deren Sehewinkel noch keine Sekunde beträgt, und die also nur ihres starken Glanzes wegen sichtbar sind. Fällt dagegen das Licht eines Gegenstandes auf einen Hintergrund, gegen welchen es nur wenig absticht, so kann der Gegenstand, selbst unter einem ziemlich großen Sehewinkel, unsichtbar bleiben.

Liegen mehrere Gegenstände, deren wahre Größe verschieden ist, unter einerlei Sehewinkel, so scheinen sie, abgesehen von den angegebenen Ausnahmen, gleich groß zu seyn. Denkt man sich z. B. das Auge in c (Fig. 160. S. 400), von wo aus es auch einem Gegenstand ab und nach einem entferntern größern Gegenstand rp hinsieht, so erscheinen beide unter demselben Sehewinkel x, und werden daher für gleich groß gehalten. In diesem Falle haben dann auch die Entfernungen der Gegenstände vom Auge einerlei Verhältniß mit den wahren Durchmessern dieser Gegenstände. Wäre rp ein Körper, dessen Durchmesser 100mal größer ist, als der Durchmesser von ab, und erscheinen beide unter demselben Sehewinkel x, so ist auch rp in einer 100mal größern Entfernung vom Auge als ab. Der Durchmesser der Sonne, der fast 113mal so groß ist, als der Durchmesser der Erde, ist etwa 400mal so groß als der des Mondes, da dessen Durchmesser nur $^3/_{11}$ von dem Durchmesser der Erde beträgt. Da nun die Sonne etwa 20000000 Meilen, der Mond aber nur über 50000 Meilen von der Erde entfernt ist, so ist jene auch 400mal so weit als dieser von der Erde entfernt. Sonne und Mond scheinen aber, wenn sie unter gleichen Sehewinkeln gesehen werden, gleich groß zu seyn.

Liegen mehrere Gegenstände, deren wahre Größen sich gleich sind, in verschiedenen Entfernungen vom Auge, so macht der entferntere Gegenstand einen kleinern Sehewinkel als der nähere. Zweimal so weit vom Auge macht er nur einen halb so großen Sehewinkel, dreimal so weit, nur einen $^1/_3$ so großen Sehewinkel. Bei gleich großen Gegenständen stehen daher die Sehewinkel mit den Entfernungen in einem umgekehrten Verhältniß, so wie diese wachsen, nehmen jene ab. Steht man daher z. B. von einem Thurm 200 Schritte entfernt, so erscheint er unter einem noch einmal so großen Sehewinkel, als in einer Entfernung von 400 Schritten.

Fig. 161.




Mathematisch richtig ist dieses Verhältniß nur für sehr kleine Winkel. Bei großen Winkeln gilt das Verhältniß nicht von diesen, sondern von ihren Tangenten. Diese sind es eigentlich, welche im umgekehrten Verhältniß zu den Entfernungen stehen. Denn gesetzt, ab (Fig. 161) stelle einen Gegenstand vor, den man erst von c, dann von d aus sehe, und abc sey = R, so ist:

1) cb : ab = sin. tot. : tang. c.
2) ab : db = tang. d. : sin. tot.

also 3) cb : db = tang. d. : tang. c.

Auch durch die Lage des Gegenstandes wird die Größe des Sehewinkels abgeändert, indem natürlich der Gegenstand hb (Fig. 161), wenn



Digitized by Google

er auch so groß wie ab und eben so weit vom Auge c entfernt ist, seiner Lage nach einen andern Sehewinkel als ab macht, da offenbar der Winkel hcb kleiner als der Winkel acb ist.

Durch die Zu- und Abnahme der Sehewinkel lassen sich allerlei vorkommende Erscheinungen erklären. Dahin gehört z. B., daß Waldungen, Felder mit Saatfrüchten ꝛc. in der Ferne gar keine Lücken zu haben scheinen, weil dann die Lücken einen zu kleinen Sehewinkel machen, um daher dem Auge entschwinden. Aus demselben Grunde sieht man auch in der Entfernung von einem Thurm dessen einzelne hervorragende Theile nicht. Eine lange Reihe von Bäumen, die völlig gleichlaufend gegen einander überstehen, scheint dennoch in der Entfernung zusammen zu laufen, weil die Breite, unter welcher die Bäume auseinander stehen, unter einem immer kleinern Sehewinkel erscheint, je weiter sie vom Auge wegrückt.

§ 196. (Optische Täuschungen.) So richtig indessen der Satz ist, daß bei gleich großen Gegenständen die Sehewinkel sich umgekehrt wie die Entfernungen verhalten, so ist doch dessen Umkehrung, daß nämlich ein Gegenstand, der in einer gewissen Entfernung noch einmal so groß erscheint, als in einer andern, auch noch einmal so nahe liegen müsse, nur unter Beschränkungen richtig. So weiß Jeder, daß die Sonne, wenn sie am westlichen Horizont zum Untergang sich neigt, öfters mehr als einen noch einmal so großen Durchmesser zu haben scheint, als zur Mittagszeit, wo sie über dem Kopf steht. Wie falsch würde aber nicht der Schluß seyn, wenn einer in Ernst die Behauptung aufstellte, daß die Sonne, weil ihr Durchmesser bei'm Untergang noch einmal so groß aussieht, auch wirklich noch einmal so nahe sey, als sie am Mittage gewesen ist! Dieß einzige Beispiel ist wohl schon hinreichend, uns darauf aufmerksam zu machen, daß aus den verschiedenen scheinbaren Durchmessern der Gegenstände, besonders solcher, deren Entfernung von uns beträchtlich ist, kein Schluß auf die Entfernung gemacht werden könne. Der Grund dieser Erscheinung liegt aber darin, daß das Auge nur die Stärke und die Richtung des Lichts durch den Eindruck auf die Netzhaut empfindet, von der Entfernung des sichtbaren Gegenstandes aber unmittelbar gar keine Empfindung hat, und nicht zu entscheiden vermag, ob Lichtstrahlen, von denen es berührt wird, einen längern oder kürzern Weg zu machen hatten. In der That ist auch jede Wahrnehmung über die Entfernung eines Gegenstandes keine sinnliche Wahrnehmung, keine körperliche Empfindung, sondern ein Vernunftschluß, ein Urtheil, welches wir, von der Natur stets darin geübt, ganz bewußtlos fällen, und das eben darum mit der Empfindung so innig zusammen schmilzt, daß wir kaum mehr im Stande sind, beide von einander zu unterscheiden. Ein Mensch, der im frühen Kindesalter blind geworden ist, und erst in reifern Jahren sein Gesicht wieder erlangt, hat auch wirklich in der ersten Zeit gar keine Vorstellung über Entfernung. Nahe und entfernte Gegenstände scheinen ihm alle gleich weit vom Auge entfernt zu seyn, bis er es endlich durch Uebung dahin gebracht hat, über Entfernungen ein richtiges Urtheil fällen zu können. Auch ist es ja bekannt, daß die kindische Unerfahrenheit, der noch kein Urtheil über Entfernungen inne wohnt, eben so gut nach dem Monde, als nach der naheliegendsten Sache greift.

So wahr es aber auch ist, daß wir Entfernungen nicht zu empfinden vermögen, so wahr ist es zugleich auch, daß die Natur unsere

Digitized by Google

Empfindungen so ungemein unterstützt, daß dadurch unser Urtheil über Entfernungen überaus erleichtert, gestärkt und geschärft wird. Nicht nur ist das Licht entfernter Gegenstände, theils durch dessen Abnahme nach dem Quadrat der Entfernung (§ 192), theils durch die ungleichförmige Durchsichtigkeit der Luft, viel schwächer, als das Licht von näher liegenden Gegenständen, sondern auch die Anstrengung, die man im Auge empfindet, wenn man scharf nach einem Gegenstand sieht, ist für nahe Gegenstände anders, als sie es für entferntere ist. Außer diesen Umständen, die alle noch von dem körperlichen Auge empfunden werden, wird auch unser Urtheil über Entfernung dadurch geschärft, daß ein sichtbarer Gegenstand in der Umgebung von andern Gegenständen sich befindet, deren Lage und Entfernungen wir bereits kennen gelernt haben, so wie dadurch, daß, einmal bekannt mit der wahren Größe eines Gegenstandes, wir im Stande sind, vermittelst seiner abnehmenden scheinbaren Größe, auf seine Entfernung zu schließen.

Obgleich aber alle diese Umstände sich vereinigen, unser Urtheil über Entfernungen sicher zu stellen und zu berichtigen, so reichen sie doch nur für solche Gegenstände hin, deren Entfernung nicht beträchtlich groß ist. Mit der Zunahme der Entfernung wird auch unser Urtheil darüber immer unsicherer und schwankender, die Mittel zu dessen Berichtigung werden immer spärlicher, und hören endlich ganz auf, wenn unsere Blicke durch den lichten Himmelsraum schweifen. Sonne, Mond und alle Sterne, ja selbst Nordlichter, Sternschnuppen und viele andere Meteore scheinen in gleicher Entfernung von uns am Himmelsgewölbe dahin zu schweben. Selbst für nähere Gegenstände mischt sich oft die Einbildungskraft mit in das Urtheil ein, und gibt ihm eine falsche Richtung. Solche falsche Urtheile, von denen Niemand, selbst nicht der kenntnißreichste Optiker, sich frei machen kann, werden optische Täuschungen oder Gesichtsbetrüge genannt.

Dergleichen optische Täuschungen finden aber nicht bloß in Beziehung auf Entfernungen statt, sondern überall, wo unser Urtheil und unsere Einbildungskraft im Sehen sich mit einmischen, und uns zu falschen Schlüssen verleiten, so wie es an Gründen und Umständen fehlt, durch welche das falsche Urtheil zurückgehalten werden kann, und schon im Entstehen unterdrückt wird. Das Wesen der Gesichtsbetrüge besteht demnach nicht in einer falschen und lügenhaften Empfindung, sondern in einer irrigen Beurtheilung. Was das Auge im gesunden Zustand sieht, ist als Empfindung immer wahr, falsch kann nur seyn, was durch die Einbildungskraft und das Vorstellungsvermögen hinzukommt. Könnten die Empfindungen uns betrügen, könnte das gesunde Auge falsche Bilder uns vorgaukeln, so müßte unser Daseyn einem immerwährenden Zustand von hitziger Nervenkrankheit gleichen.

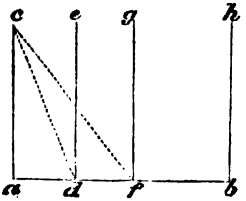
Falsch sind daher oft auch unsere Urtheile über Bewegungen, weil Bewegungen ebenfalls nicht empfunden, sondern nach dem scheinbaren Fortrücken der Gegenstände beurtheilt werden (§ 30). Es ist gar nicht selten, daß man einen bewegten Körper für ruhend hält, einen ruhenden für bewegt, einen vorwärts gehenden für rückwärts gehend u. s. w. Helle Körper, die sich sehr geschwind bewegen, glaubt man eine kleine Weile noch an Stellen zu sehen, die sie bereits schon wieder verlassen haben. Schwingt man einen hellen Körper, z. B. eine glühende Kohle, in einem Kreise um, so sieht man einen ununterbrochenen hellen Kreis, wenn der



Digitized by Google

ganze Umschwung, nach den Versuchen des Herrn von Segner, nicht über eine halbe Sekunde dauert, weil die Eindrücke des Lichts auf die Netzhaut eine halbe Sekunde lang anhalten, wenn gleich der Körper, durch den der Eindruck bewirkt worden ist, unterdessen eine andere Stelle eingenommen hat. Dadurch, daß der Lichteindruck auf unser Auge höchstens eine halbe Sekunde lang dauert, kann man auch eine Schrift durch ein Stück Metall lesen, welches ein so großes Loch hat, daß man durch dasselbe, wenn es aufgelegt wird, einen Buchstaben sehen kann, nur muß man das Loch schnell von einem Buchstaben zum andern verschieben; langsam fortgeschoben, geht der Lichteindruck von den voraus gegangenen Buchstaben wieder verloren, und das Lesen geht nicht fort. Die sogenannten Thaumatrope oder Wunderdreher, wie die Kunsthändler sie auch nennen, wo durch schnelle Umdrehungen getheilte Figuren als ein Ganzes erscheinen, beruhen ebenfalls auf der Dauer des Lichteindrucks. Besteht ein Lichtstrahl, der von einem entfernten Gegenstand in unser Auge gelangt, aus mehreren einzelnen Stücken, so erscheint er uns doch als eine zusammenhängende gerade Linie, wenn auch die einzelnen Stücke mehrere tausend Meilen weit von einander getrennt sind. Dauert der Lichteindruck eines einzelnen Stückes auch nur ein Zehntel Sekunde, so können die Stücke, wegen der großen Geschwindigkeit des Lichts, schon über 4000 Meilen weit hinter einander herkommen, ohne daß uns die gerade Linie getrennt erscheine. Bewegt sich ein Körper auf das Auge zu, oder von dem Auge weg, und befindet er sich dabei in der Augenachse, so sieht man seine Bewegung nur dann, wenn er so nahe ist, daß man die Veränderungen, welche seine scheinbare Größe und Entfernung dadurch erleiden, wahrnehmen kann. Ist er aber so weit vom Auge, daß diese Veränderungen nicht mehr bemerkbar werden, so scheint er zu ruhen. Zu der Menge alltäglicher Erfahrungen, durch welche diese Behauptung sich rechtfertigt, gehört auch das Fortrücken der Fixsterne. Ein solcher Stern durchläuft in 24 Stunden einen ganzen Kreis von 360 Grad, und legt mithin in Zeit von einer Sekunde ein Bogenstück von 15 Kreissekunden zurück. Diese Bewegung ist aber, wenn man den Stern eine Sekunde lang beobachtet, nicht bemerkbar, und der Stern scheint in dieser Zeit geruht zu haben. Wenn demnach ein Gegenstand auch noch unter einem so kleinen Sehewinkel, wie der ist, der auf einem Bogen von 15 Sekunden steht, sichtbar ist, so kann doch seine Bewegung nicht bemerkt werden. Auch die Bewegung des Stundenzeigers auf dem Zifferblatt einer Uhr ist eine unwahrnehmbare. Bewegt sich das Auge, und ist man der Bewegung sich bewußt, so scheinen sehr entfernte Körper nach derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit die Bewegung mitzumachen. So scheint der Mond in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit mit fortzurücken, in welcher man sich selbst befindet. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in der großen Entfernung des Mondes von der Erde, gegen welche unsere Bewegung zu gering ist, um eine Veränderung in der Lage, welche durch die Bewegung entstanden ist, bemerken zu können. Die Lichtstrahlen nämlich, welche von dem Mond nach dem Auge gehen, sind, wegen der großen Entfernung, unter sich beinahe gleichlaufend, und treffen daher immer dieselben Stellen der Netzhaut. Bewegt man sich z. B. von a nach b (Fig. 162) und sieht man von a aus den Mond

Fig. 162.




Digitized by Google

in c, so scheint er von d aus gesehen nicht nach dc, sondern nach de, weil die Strahlen dc und de fast gleichlaufend sind. So ist es auch der Fall, wenn man bis nach f gekommen ist, wo man den Mond nicht nach fc, sondern nach fg sieht. Da man das Bewußtseyn hat, von a nach f gekommen zu seyn, so legt man dem Mond, der immer in derselben Lage gegen das Auge geblieben ist, eine gleiche Bewegung bei. Bewegt sich das Auge, ohne daß man der Bewegung sich bewußt ist, so entsteht die Täuschung, daß man das Auge für ruhend hält, und dagegen glaubt, es seyen die äußern Gegenstände, welche sich, und zwar nach entgegengesetzter Richtung, bewegten. Dieses ist z. B. der Fall bei der Achsenumdrehung der Erde, von welcher man kein Bewußtseyn hat, und wodurch der Wahn entsteht, daß die Sonne auf- und untergehe. In einem Schiffe fahrend ist es mit den Gegenständen am Ufer derselbe Fall. Ist das Auge in einer bewußtlosen Bewegung und bewegt sich zugleich auch der sichtbare Gegenstand, so wird die Täuschung noch zusammengesetzter, wie dieses u. a. mit den verwirrt scheinenden Bewegungen der Planeten, die man deßhalb auch Irrsterne genannt hat, der Fall ist.

So wie Entfernung und Bewegung, so wird auch die wahre Gestalt eines Gegenstandes nicht unmittelbar empfunden, sondern beurtheilt. Das Bild eines Gegenstandes auf der Netzhaut ist ja nur ein Phantom, also kein Körper, sondern nur eine Fläche, indessen der sichtbare Gegenstand immer ein Körper ist. Was also vom Auge als Fläche empfunden wird, steht, besonders für irdische Gegenstände, im Bewußtseyn als Körper da. Auch hier wird demnach der Empfindung durch die Erfahrung nachgeholfen, wozu denn auch der Wechsel von Licht und Schatten das Seinige beiträgt.

Hierauf beruht auch die Perspective, d. i. die Kunst, sichtbare Gegenstände so auf einer Fläche darzustellen, daß sie dem Auge aus einem angenommenen Standpunkte in ihrer verschiedenen Lage, Gestalt und Entfernung erscheinen. Man theilt sie in die geometrische Perspective, welche lehrt, die Umrisse eines Gegenstandes so zu zeichnen, daß sie dem Auge wie in der Wirklichkeit erscheinen, und in die Luftperspective, welche Anleitung zur richtigen Benutzung von Licht und Schatten und zur Abstufung der verschiedenen Entfernungen gibt. Beide zusammen machen die Grundlage der Malerei aus. Was sonst noch in einem Gemälde liegt, und den Beschauer hinzureißen vermag, gehört dem Genie des Malers an.

Zu den optischen Täuschungen über Entfernung, Bewegung und Gestalt der Gegenstände gesellen sich auch die, welche über die wahre Größe eines Gegenstandes sich zutragen. Der Erfahrung gemäß, sieht man entfernte Gegenstände viel kleiner, als sie in der Nähe aussehen, wie dieses auch dem Sehewinkel nach seyn muß. Sind es aber solche Gegenstände, welche man oft nahe und fern schon gesehen hat, so erscheinen sie uns stets in ihrer wahren Größe. Hier ist also abermals eine Verschmelzung des Urtheils mit der Empfindung im Spiel. So sieht man einen sonst bekannten Menschen auch in der Entfernung sogleich in seiner wahren wohlbekannten Größe vor sich stehen, obgleich er dem Sehewinkel nach viel kleiner aussehen sollte. Sogar die wahre Größe eines unbekannten Gegenstandes, den man unter Umgebungen sieht, deren wahre Größe bekannt ist, wird dadurch oft ganz richtig beurtheilt.

Ungemein groß ist die Zahl der irdischen und himmlischen Erschei-

Digitized by Google

nungen, welche sich aus der Vermischung des bewußtlosen Urtheils mit der Empfindung und der daher entstehenden optischen Täuschungen erklären lassen. Außer denen, welche bereits angeführt worden sind, sollen noch folgende hier erklärt werden.

1) Dinge, die man senkrecht über oder unter sich sieht, oder die senkrecht in die Höhe sich erstrecken, scheinen viel kleiner zu seyn, als in einer wagerechten Lage. Denkt man sich z. B. einen Thurm seiner Länge nach auf der Erde liegend, so würde er bei weitem länger erscheinen, als er in seiner senkrechten Stellung erscheint. Ein Mensch, oder eine Sache auf einem zweihundert Fuß hohen Thurm sich befindend, scheint von unten an der Erde aus bei weitem kleiner als in einer zweihundert Fuß weiten horizontalen Entfernung. Mit den Gegenständen, welche man von einem Thurm aus unten an der Erde sieht, ist es wieder so; sie scheinen viel kleiner, als sie in einer eben so großen horizontalen Entfernung aussehen. Diese optischen Täuschungen lassen sich daraus erklären, daß wir weit mehr Uebung in der Schätzung horizontaler Entfernungen als senkrechter Höhen haben. Auch kommen uns bei der Beurtheilung horizontaler Entfernungen viel zwischenliegende Gegenstände, die mit gesehen werden, in so fern zu statten, daß sie uns zu Vergleichungen dienen. Bei der Beurtheilung einer senkrechten Entfernung aber sind in der Regel weniger zwischenliegende Gegenstände vorhanden, und in ziemlicher Höhe hören sie endlich ganz auf. Aus Mangel solcher Gegenstände, durch welche wir unser Urtheil zu berichtigen vermögen, halten wir daher eine senkrechte Entfernung für näher, als sie wirklich ist, und legen darum dem sichtbaren Gegenstand eine geringere Größe bei, als er wirklich hat. Hieraus läßt sich dann auch erklären, warum man Sonne und Mond, wenn sie am Horizonte hin stehen, für größer hält, als mitten am Himmel. Da wir nämlich die horizontale Entfernung für größer als die senkrechte halten, so entsteht die Meinung in uns, diese Weltkörper müßten, wenn sie am Horizont stehen, auch einen kleinern Sehewinkel bilden, als in ihrem Stand oben am Himmel. Da aber in beiden Stellungen der Sehewinkel derselbe ist, so verfallen wir dadurch in eine andere Täuschung, und bilden uns ein, daß der Körper, der in einer größern Entfernung unter demselben Sehewinkel erscheine, als in einer andern Entfernung, die wir für kleiner hielten, sich vergrößert haben müsse. Dieselbe Täuschung findet auch bei'm Anblick des sichtbaren Theils des Himmelsgewölbes statt. Dieses sollte uns wie die innere Fläche einer hohlen Halkugel erscheinen, also überall hin eine gleiche Entfernung von uns haben. Da wir aber die Theile des Gewölbes, welche senkrecht über uns liegen, für näher halten, als die weiter nach dem Horizont hin liegenden Theile, so glauben wir, das Himmelsgewölbe müsse gerade über uns sehr platt und eingedrückt seyn.

2) Liegt ein Gletscher und ein anderer Berg in gleicher Entfernung von uns, so scheint jener, seiner größern Helligkeit wegen, uns doch näher als dieser zu liegen. Eine ähnliche Erscheinung findet bei Zimmern statt, deren Wände frisch ausgeweißt worden sind; weil wir nämlich die hellern Wände für näher zusammenliegend halten, so glauben wir, die ausgeweißten Zimmer seyen kleiner als vorher geworden. Bei bewölktem Himmel und nebliger Witterung scheinen auch die Gegenstände weiter entfernt zu seyn, als bei hellem Himmel. Da sie indessen immer denselben Sehewinkel machen, so verfallen wir, wie bei Sonne und Mond am Horizont,

Digitized by Google

in die Täuschung, entfernte Gegenstände bei trüber Witterung für größer zu halten.

3) Bei'm Anblick einer großen Wasserfläche oder weiten Ebene scheinen entferntere Theile den Wolken sich zu nähern, weil der Raum, der zwischen der Ebene und den Wolken liegt, wie bei einer langen Allee, unter immer abnehmendem Sehewinkel gesehen wird. Ein nahe fliegendes oder kriechendes Käferchen, gegen welches das Auge schief gerichtet ist, und das unvermuthet gesehen wird, kann einem wie ein großer Vogel, der in der Ferne fliegt, oder wie ein großes Thier, das in der Ferne umherläuft, vorkommen, weil durch den großen Sehewinkel, den das Käferchen seiner Nähe wegen im Auge, von dem es nicht deutlich gesehen wird, macht, die Vorstellung verleitet wird, einen fernen viel größern Gegenstand zu vermuthen. Mit den Schauspielern und andern Gegenständen, welche man auf einem Theater sieht, wo sie von perspectivischen Decorationen umgeben sind, geht es einem eben so; sie scheinen viel größer zu seyn. Wir vergleichen sie nämlich mit einem Baum oder sonst etwas, welches in der perspectivischen Zeichnung eine ferne Lage zu haben scheint, und sehen sie, ihrer Nähe wegen, an einem solchen Gegenstand weit emporragen.

4) Auf Landstraßen, wo Erhöhungen und Vertiefungen mit einander abwechseln, scheinen uns hervorragende Häuser, Thurmspitzen u. s. w. näher zu liegen, als sie es wirklich sind, weil ein Theil des Weges durch die Unebenheiten unsichtbar bleibt. Da man nun, um diese Gegenstände zu erreichen, viel länger gehen muß, als man sich eingebildet hat, so kommt einem natürlich der Weg ungemein lang vor.

Berge und Thürme, die man auf einem Berg oder Thurm stehend sieht, scheinen daher, da jetzt keine solche Unebenheiten mehr da sind, sich viel näher zu liegen. Aus demselben Grunde halten wir auch das jenseitige Ufer eines Stromes für viel näher, als es wirklich ist.

In der That, die Menge der optischen Täuschungen, welche aus der Vermischung eines bewußtlosen Urtheils mit der Empfindung entsteht, ist überaus groß, und so innig mit unserm Wesen verwebt, daß sie Niemand von sich abwehren kann. Eine Steigerung, die keine Regel und keine Gränze hat, erleiden aber die optischen Täuschungen erst vollends, wenn eine erhitzte Einbildungskraft, Aberglauben, fest gewurzelte Vorurtheile, schwärmerische Ideen sich mit einmischen. Dem Teufel wirft man dann das Dintenfaß an den Kopf, und tausenderlei Gestalten, von denen die Vernunft nichts weiß, gaukeln um einen her. Je gespannter der Seelenzustand des Menschen ist, desto mehr ist er auch solchen Täuschungen preisgegeben, und wie gering mag die Zahl derer seyn, die im Ernst von sich sagen können, daß sie auf diese Weise nie getäuscht worden sind. Eben so ist aber auch ein gutes Schutzmittel gegen manche optische Täuschung ein gutes Augenmaß, d. h. die Fertigkeit, gesehene Gegenstände nach Gestalt, Größe, Lage und Entfernung schnell und richtig beurtheilen zu können, was nur allein durch anhaltende Uebung zu erlernen ist.

**§ 197.** (Zurückwerfung des Lichts.) Das Licht, welches auf undurchsichtige Körper fällt, durch welche es nicht hindurchgehen kann, und von welchen es auch nicht verschluckt wird, geht wieder, wegen der sehr großen Elastizität der Aethertheilchen, deren Wellen sich gegenseitig verstärken und unterstützen, durch dasselbe Mittel zurück, durch welches es [gekom-

Digitized by Google

men ist. Diesen Rückgang nennt man die Zurückwerfung oder die Reflexion des Lichts.

Die Erscheinungen, welche durch die Zurückwerfung entstehen, hängen von der Befähigung des Körpers, das Licht in größerer oder geringerer Vollkommenheit zurückzuwerfen, ganz vorzüglich ab. Diese Befähigung liegt aber einestheils in der Farbe des Körpers, von welchem das Licht zurückgeworfen wird, anderntheils und hauptsächlich auch in der Beschaffenheit dessen Oberfläche. Fällt das Licht auf die Oberfläche eines dunkeln Körpers, von welcher es zwar zurückgeworfen, nur nicht in derselben Ordnung zurückgeworfen wird, in welcher es auf sie zuging, so bewirkt die Zurückwerfung auch nichts weiter, als daß die erleuchtete Oberfläche des Körpers dem Auge sichtbar wird. Dunkle Körper sind in der That auch nur dadurch sichtbar, daß sie das auffallende Licht wieder zurückstrahlen. Leiteten sie es ganz durch sich hindurch, oder verschlucken sie es ganz, so könnten sie auch nicht mehr gesehen werden. Fällt aber das Licht auf die Oberfläche eines dunkeln Körpers, von welcher es in derselben Ordnung wieder zurückgeworfen wird, in welcher es auffiel, so bilden die zurückgeworfenen Strahlen den Gegenstand ab, von welchem das Licht herkam. In diesem Falle hat das Auge, in so fern es die gehörige Lage hat, diese Zurückwerfung wahrnehmen zu können, dieselbe Empfindung, die es von dem Gegenstand selbst haben würde, und dieses eben nennt man den Anblick eines Gegenstandes im Bilde.

Auf die Frage: Wie muß aber die Oberfläche eines dunkeln Körpers beschaffen seyn, wenn durch das von ihr zurückstrahlende Licht ein Bild des Gegenstandes entstehen soll, von welchem das Licht auf die Fläche hinfällt? gibt die Erfahrung die Antwort. Diese zeigt es, daß nur solche Körper, deren Oberfläche glatt und eben ist, die Eigenschaften besitzen, welche zur Hervorbringung eines Bildes erforderlich sind. Nur von solchen Oberflächen gehen die sogenannten Lichtstrahlen, welche von andern Gegenständen auf sie gelangen, in derselben Ordnung wieder zurück, in welcher sie aufgefallen sind, und lassen sie die Abbildung des Gegenstandes zu. Von Körpern aber, deren Oberfläche rauh und uneben ist, werden die Lichtstrahlen, welche von andern Gegenständen darauf gelangen, aus deren vielen Erhöhungen und Vertiefungen so unordentlich und so durcheinander fahrend zurückgeworfen, daß sie zu keinem vollständigen Bild sich zu vereinigen vermögen. Diese Zurückwerfung bewirkt also bloß, daß die Oberfläche, auf welche das Licht fällt, sichtbar wird.

Ein Körper, dessen Oberfläche glatt und eben genug ist, um die Lichtstrahlen, welche von einem andern Gegenstand auf sie gelangen, in einer solchen Ordnung wieder zurückzuwerfen, daß dadurch ein Bild dieses Gegenstandes entstehen kann, wird überhaupt ein Spiegel, und die reflectirende Oberfläche selbst eine Spiegelfläche genannt.

Im Grunde kann man eigentlich die Oberfläche eines jeden Körpers, so bald sie nur erforderlichermaßen geglättet ist, als Spiegelfläche betrachten, und dieses gilt sogar von den durchsichtigen Körpern, z. B. von Glasscheiben, obschon diese das Licht durch sich hindurch lassen. Auch spiegelt schon jede Fläche, wenn sie einigermaßen eben ist, wenn man sehr schräge auf sie hinsieht. Dergleichen Spiegelungen geben indessen so undeutliche Bilder, daß sie kaum zu den Spiegelflächen gezählt werden können. Auch gibt es Körper, deren Oberfläche dem Gefühle nach recht glatt und eben zu seyn scheint, wie z. B. die Oberfläche eines gut geglätteten Velinpapiers, und die dennoch nicht spiegeln. Man darf aber nur einen solchen

Digitized by Google

Körper durch das Mikroskop betrachten, um sich zu überzeugen, daß dessen Oberfläche für die überaus große Feinheit des Lichts oder der Lichtwellen noch viel zu rauh und uneben ist, um eine Spiegelfläche seyn zu können. Als eigentliche von der Natur gebildete Spiegelflächen bleiben daher nur flüssige Körper, besonders Wasser und Queckſilber, die über einem dunkeln Grunde stehen, übrig, und die man auch die natürlichen Spiegel zu nennen pflegt. Ein solcher flüssiger Körper, der, wie z. B. ein stillstehendes, helles und klares Wasser, an und für sich durchsichtig ist, leitet die Lichtstrahlen, welche andere Gegenstände auf ihn fallen lassen, bis auf seinen dunkeln Grund fort, von wo aus sie durch den flüssigen Körper, der die Rauhigkeiten und Unebenheiten des dunkeln Grundes ausfüllt, wieder in das Auge in gehöriger Ordnung reflectirt werden. Sogar Nebel erzeugen eine unvollkommene Spiegelung, wovon man sich eine Wahrnehmung verschaffen kann, wenn man im Finstern bei dickem Nebel ein Licht in ein geöffnetes Fenster setzt, oder in den Nebel hinaushält, wo dann das Licht und das eigne Bild reflectirt werden. Daher kommt es auch, daß manche Menschen schon ihr eigenes Bild sahen, wenn sie, mit einem Lichte versehen, in einem sehr dunstigen Zimmer sich befanden. Der Fall gehört freilich zu den Seltenheiten, weil die dazu erforderlichen Umstände sich selten zusammenfinden, aber eben deßhalb ist auch die Erscheinung um so auffallender, und wird von abergläubischen Menschen gewöhnlich, als ein Zeichen ihres nahen Todes, mit nicht geringem Schauder wahrgenommen. Eine große Deutlichkeit besitzt aber das Bild eines solchen natürlichen Spiegels keineswegs, da ein jeder flüssige Körper nicht nur undurchsichtige Theile hat, welche nicht mehr reflectiren, sondern auch solche Theile, welche einen aufgefangenen Lichtstrahl mehrfach zurückwerfen. Zu den vollkommenen Spiegeln gehören demnach nur die künstlichen Spiegel, die man aus festen Körpern, denen man den erforderlichen Grad von Politur geben kann, verfertigt, und unter welchen einige einfache und zusammengesetzte Metalle den ersten Platz einnehmen. Selbst die Glasspiegel sind im Grunde nichts Anders als Metallspiegel, da nicht das Glas, sondern eigentlich nur dessen hintere Belegung, aus einem Amalgama von Zinn und Queckſilber bestehend, die Spiegelung erzeugt.

Obgleich die Glasspiegel für den gewöhnlichen Gebrauch vollkommen hinreichend sind, so können sie jedoch zu optischen Versuchen, bei welchen eine große Genauigkeit verlangt wird, nicht mehr benutzt werden. Denn außerdem, daß ein jeder Glasspiegel eine doppelte Spiegelung, von der Vorder- und Hinterfläche her, veranlaßt, wird auch der Lichtstrahl, welcher bis zur Hinterfläche des Spiegels gelangt, im Glase erst mehrere Mal gebrochen. Dergleichen Nebenumstände benehmen aber den Erscheinungen, als bloße Wirkungen der Reflexion, gar Vieles an reiner Darstellung. Nach den Versuchen des Grafen von Rumford geht, auch bei einem sehr guten ebenen Glasspiegel, noch immer über ein Drittel des auffallenden Lichts gänzlich verloren. Zu genauem optischen Gebrauche sind daher Metallspiegel von weit vorzüglicherm Werth und ganz unentbehrlich. Je härter, dichter und weißer das Metall ist, je weniger es durch Luft und Feuchtigkeit an Politur und Glanz verliert, desto vortrefflicher sind die Spiegel, welche es liefert. Am besten eignen sich dazu Metallcompositionen, die hart und spröde sind, und sich gut poliren lassen. Eine Mischung von 32 Theilen Kupfer, 15 Theilen Zinn, 1 Theil Messing und 1 Theil Arsenik hält man für eine der vorzüglichsten Spiegelcompositionen.

Digitized by Google

der ihm gleiche Scheitelwinkel kch, desto größer ist folglich auch kh, oder das Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut. Von der wahren Größe ist also die scheinbare darin sehr verschieden, daß jene sich nur dann verändert, wenn der Gegenstand selbst eine Zu- und Abnahme erleidet, diese aber mit jeder Veränderung des Sehewinkels sich verändert, und daher bloß und allein von der Entfernung abhängt, in welcher der Gegenstand vom Auge sich befindet. Hieraus geht nun hervor, daß ein und derselbe Gegenstand dem Auge bald größer, bald kleiner vorkommen kann. Befindet sich z. B. (Fig. 160) das Auge in c, so sieht es den Gegenstand ab unter dem Winkel x, in d sieht es ihn unter dem Winkel v, in e unter dem Winkel m. Da nun in der Geometrie bewiesen wird, daß der Winkel x größer als v, und dieser wieder größer als m seyn muß (Euklid's Elemente, erstes Buch, 21. Satz), so muß auch die scheinbare Größe von ab in c am größten und in e am kleinsten für diese drei Standpunkte des Auges seyn. Je weiter demnach ein Gegenstand vom Auge weg ist, desto kleiner muß er ihm erscheinen. Wie sehr dieses der Erfahrung gemäß ist, läßt sich durch viele Beispiele darthun, die Jeder sich selbst zu machen eine Menge Veranlassungen findet. Wird der Sehewinkel gar zu klein, so verschwindet der Gegenstand. In der Regel nimmt man an, daß dieses für einen Winkel, der kleiner als 40 Sekunden ist, der Fall sey. Stellt man sich vor, daß die geraden Linien ae und eb (Fig. 160), welche von dem Auge in e bis zu den Endpunkten a und b des Gegenstandes gehen, Halbmesser eines Kreises sind, der seinen Mittelpunkt in e habe, so findet man, wenn man den ganzen Umkreis, der bekanntlich 360 Grad, oder, da ein Grad 3600 Sekunden hat, 1296000 Sekunden hält, daß der Sehewinkel m, in so fern er auf einem Bogen von 40 Sekunden steht, einen Theil der Peripherie abschneidet, welcher den 32400sten Theil derselben enthält, wenn man nämlich 40 in 1296000 dividirt. Da nun der Halbmesser ae der $\frac{1}{32400}$ste Theil der ganzen Peripherie ist, so ist er im Verhältniß zu dem 32100sten Theil derselben 32400mal $\frac{1}{32400}$ oder beinahe 5160mal größer. Daher sagt man, daß ein Gegenstand nicht mehr gesehen werde, wenn der Sehewinkel nicht über 40 Sekunden betrage, oder, was dasselbe ist, wenn die Entfernung des Gegenstandes vom Auge über 5000mal größer ist, als der scheinbare Durchmesser des Gegenstandes. Indessen ist dieses nur in Beziehung auf den Sehewinkel richtig, und darum auch nur unter Ausnahmen, indem die Sichtbarkeit eines Gegenstandes von noch anderen Bedingungen mit abhängt. Hierher gehört, daß außer der verschiedenen Schärfe des Gesichts, wodurch allein schon das allgemeine Gesetz von der Abnahme der Sichtbarkeit beschränkt wird, ein Gegenstand desto sichtbarer ist, je stärker er

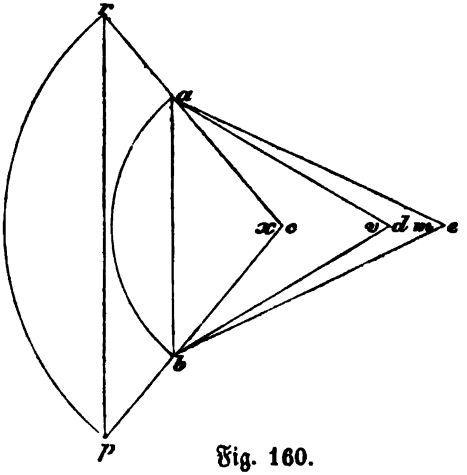


Fig. 160.

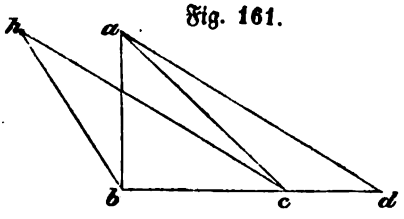
Digitized by Google

glänzt, und je mehr sein Licht gegen das Licht des Hintergrundes absticht, auf welchem er sich zeigt. Ein sehr glänzender Gegenstand, der auf einen dunkeln Hintergrund fällt, kann selbst unter einem Sehewinkel, der noch nicht einmal eine einzige Sekunde beträgt, sichtbar seyn. Dieses ist z. B. bei den Fixsternen der Fall, deren Entfernung von der Erde so ungeheuer groß ist, daß deren Sehewinkel noch keine Sekunde beträgt, und die also nur ihres starken Glanzes wegen sichtbar sind. Fällt dagegen das Licht eines Gegenstandes auf einen Hintergrund, gegen welchen es nur wenig absticht, so kann der Gegenstand, selbst unter einem ziemlich großen Sehewinkel, unsichtbar bleiben.

Liegen mehrere Gegenstände, deren wahre Größe verschieden ist, unter einerlei Sehewinkel, so scheinen sie, abgesehen von den angegebenen Ausnahmen, gleich groß zu seyn. Denkt man sich z. B. das Auge in c (Fig. 160. S. 400), von wo aus es auch einem Gegenstand ab und nach einem entferntern größern Gegenstand rp hinsieht, so erscheinen beide unter demselben Sehewinkel x, und werden daher für gleich groß gehalten. In diesem Falle haben dann auch die Entfernungen der Gegenstände vom Auge einerlei Verhältniß mit den wahren Durchmessern dieser Gegenstände. Wäre rp ein Körper, dessen Durchmesser 100mal größer ist, als der Durchmesser von ab, und erscheinen beide unter demselben Sehewinkel x, so ist auch rp in einer 100mal größern Entfernung vom Auge als ab. Der Durchmesser der Sonne, der fast 113mal so groß ist, als der Durchmesser der Erde, ist etwa 400mal so groß als der des Mondes, da dessen Durchmesser nur $^3/_{11}$ von dem Durchmesser der Erde beträgt. Da nun die Sonne etwa 20000000 Meilen, der Mond aber nur über 50000 Meilen von der Erde entfernt ist, so ist jene auch 400mal so weit als dieser von der Erde entfernt. Sonne und Mond scheinen aber, wenn sie unter gleichen Sehewinkeln gesehen werden, gleich groß zu seyn.

Liegen mehrere Gegenstände, deren wahre Größen sich gleich sind, in verschiedenen Entfernungen vom Auge, so macht der entferntere Gegenstand einen kleinern Sehewinkel als der nähere. Zweimal so weit vom Auge macht er nur einen halb so großen Sehewinkel, dreimal so weit, nur einen $^1/_3$ so großen Sehewinkel. Bei gleich großen Gegenständen stehen daher die Sehewinkel mit den Entfernungen in einem umgekehrten Verhältniß, so wie diese wachsen, nehmen jene ab. Steht man daher z. B. von einem Thurm 200 Schritte entfernt, so erscheint er unter einem noch einmal so großen Sehewinkel, als in einer Entfernung von 400 Schritten.

Fig. 161.




Mathematisch richtig ist dieses Verhältniß nur für sehr kleine Winkel. Bei großen Winkeln gilt das Verhältniß nicht von diesen, sondern von ihren Tangenten. Diese sind es eigentlich, welche im umgekehrten Verhältniß zu den Entfernungen stehen. Denn gesetzt, ab (Fig. 161) stelle einen Gegenstand vor, den man erst von c, dann von d aus sehe, und abc sey = R, so ist:

1) cb : ab = sin. tot. : tang. c.
2) ab : db = tang. d. : sin. tot.

also 3) cb : db = tang. d. : tang. c.

Auch durch die Lage des Gegenstandes wird die Größe des Sehewinkels abgeändert, indem natürlich der Gegenstand hb (Fig. 161), wenn



Digitized by Google

er auch so groß wie ab und eben so weit vom Auge c entfernt ist, seiner Lage nach einen andern Sehewinkel als ab macht, da offenbar der Winkel hcb kleiner als der Winkel acb ist.

Durch die Zu- und Abnahme der Sehewinkel lassen sich allerlei vorkommende Erscheinungen erklären. Dahin gehört z. B., daß Waldungen, Felder mit Saatfrüchten ꝛc. in der Ferne gar keine Lücken zu haben scheinen, weil dann die Lücken einen zu kleinen Sehewinkel machen, und daher dem Auge entschwinden. Aus demselben Grunde sieht man auch in der Entfernung von einem Thurm dessen einzelne hervorragende Theile nicht. Eine lange Reihe von Bäumen, die völlig gleichlaufend gegen einander überstehen, scheint dennoch in der Entfernung zusammen zu laufen, weil die Breite, unter welcher die Bäume auseinander stehen, unter einem immer kleinern Sehewinkel erscheint, je weiter sie vom Auge wegrückt.

§ 196. (Optische Täuschungen.) So richtig indessen der Satz ist, daß bei gleich großen Gegenständen die Sehewinkel sich umgekehrt wie die Entfernungen verhalten, so ist doch dessen Umkehrung, daß nämlich ein Gegenstand, der in einer gewissen Entfernung noch einmal so groß erscheint, als in einer andern, auch noch einmal so nahe liegen müsse, nur unter Beschränkungen richtig. So weiß Jeder, daß die Sonne, wenn sie am westlichen Horizont zum Untergang sich neigt, öfters mehr als einen noch einmal so großen Durchmesser zu haben scheint, als zur Mittagszeit, wo sie über dem Kopf steht. Wie falsch würde aber nicht der Schluß seyn, wenn einer in Ernst die Behauptung aufstellte, daß die Sonne, weil ihr Durchmesser bei'm Untergang noch einmal so groß aussieht, auch wirklich noch einmal so nahe sey, als sie am Mittage gewesen ist! Dieß einzige Beispiel ist wohl schon hinreichend, uns darauf aufmerksam zu machen, daß aus den verschiedenen scheinbaren Durchmessern der Gegenstände, besonders solcher, deren Entfernung von uns beträchtlich ist, kein Schluß auf die Entfernung gemacht werden könne. Der Grund dieser Erscheinung liegt aber darin, daß das Auge nur die Stärke und die Richtung des Lichts durch den Eindruck auf die Netzhaut empfindet, von der Entfernung des sichtbaren Gegenstandes aber unmittelbar gar keine Empfindung hat, und nicht zu entscheiden vermag, ob Lichtstrahlen, von denen es berührt wird, einen längern oder kürzern Weg zu machen hatten. In der That ist auch jede Wahrnehmung über die Entfernung eines Gegenstandes keine sinnliche Wahrnehmung, keine körperliche Empfindung, sondern ein Vernunftschluß, ein Urtheil, welches wir, von der Natur stets darin geübt, ganz bewußtlos fällen, und das eben darum mit der Empfindung so innig zusammen schmilzt, daß wir kaum mehr im Stande sind, beide von einander zu unterscheiden. Ein Mensch, der im frühen Kindesalter blind geworden ist, und erst in reifern Jahren sein Gesicht wieder erlangt, hat auch wirklich in der ersten Zeit gar keine Vorstellung über Entfernung. Nahe und entfernte Gegenstände scheinen ihm alle gleich weit vom Auge entfernt zu seyn, bis er es endlich durch Uebung dahin gebracht hat, über Entfernungen ein richtiges Urtheil fällen zu können. Auch ist es ja bekannt, daß die kindische Unerfahrenheit, der noch kein Urtheil über Entfernungen inne wohnt, eben so gut nach dem Monde, als nach der naheliegendsten Sache greift.

So wahr es aber auch ist, daß wir Entfernungen nicht zu empfinden vermögen, so wahr ist es zugleich auch, daß die Natur unsere

Digitized by Google

Empfindungen so ungemein unterstützt, daß dadurch unser Urtheil über Entfernungen überaus erleichtert, gestärkt und geschärft wird. Nicht nur ist das Licht entfernter Gegenstände, theils durch dessen Abnahme nach dem Quadrat der Entfernung (§ 192), theils durch die ungleichförmige Durchsichtigkeit der Luft, viel schwächer, als das Licht von näher liegenden Gegenständen, sondern auch die Anstrengung, die man im Auge empfindet, wenn man scharf nach einem Gegenstand sieht, ist für nahe Gegenstände anders, als sie es für entferntere ist. Außer diesen Umständen, die alle noch von dem körperlichen Auge empfunden werden, wird auch unser Urtheil über Entfernung dadurch geschärft, daß ein sichtbarer Gegenstand in der Umgebung von andern Gegenständen sich befindet, deren Lage und Entfernungen wir bereits kennen gelernt haben, so wie dadurch, daß, einmal bekannt mit der wahren Größe eines Gegenstandes, wir im Stande sind, vermittelst seiner abnehmenden scheinbaren Größe, auf seine Entfernung zu schließen.

Obgleich aber alle diese Umstände sich vereinigen, unser Urtheil über Entfernungen sicher zu stellen und zu berichtigen, so reichen sie doch nur für solche Gegenstände hin, deren Entfernung nicht beträchtlich groß ist. Mit der Zunahme der Entfernung wird auch unser Urtheil darüber immer unsicherer und schwankender, die Mittel zu dessen Berichtigung werden immer spärlicher, und hören endlich ganz auf, wenn unsere Blicke durch den lichten Himmelsraum schweifen. Sonne, Mond und alle Sterne, ja selbst Nordlichter, Sternschnuppen und viele andere Meteore scheinen in gleicher Entfernung von uns am Himmelsgewölbe dahin zu schweben. Selbst für nähere Gegenstände mischt sich oft die Einbildungskraft mit in das Urtheil ein, und gibt ihm eine falsche Richtung. Solche falsche Urtheile, von denen Niemand, selbst nicht der kenntnißreichste Optiker, sich frei machen kann, werden optische Täuschungen oder Gesichtsbetrüge genannt.

Dergleichen optische Täuschungen finden aber nicht bloß in Beziehung auf Entfernungen statt, sondern überall, wo unser Urtheil und unsere Einbildungskraft im Sehen sich mit einmischen, und uns zu falschen Schlüssen verleiten, so wie es an Gründen und Umständen fehlt, durch welche das falsche Urtheil zurückgehalten werden kann, und schon im Entstehen unterdrückt wird. Das Wesen der Gesichtsbetrüge besteht demnach nicht in einer falschen und lügenhaften Empfindung, sondern in einer irrigen Beurtheilung. Was das Auge im gesunden Zustand sieht, ist als Empfindung immer wahr, falsch kann nur seyn, was durch die Einbildungskraft und das Vorstellungsvermögen hinzukommt. Könnten die Empfindungen uns betrügen, könnte das gesunde Auge falsche Bilder uns vorgaukeln, so müßte unser Daseyn einem immerwährenden Zustand von hitziger Nervenkrankheit gleichen.

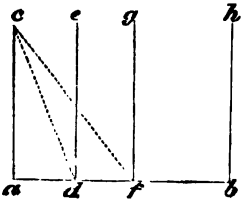
Falsch sind daher oft auch unsere Urtheile über Bewegungen, weil Bewegungen ebenfalls nicht empfunden, sondern nach dem scheinbaren Fortrücken der Gegenstände beurtheilt werden (§ 30). Es ist gar nicht selten, daß man einen bewegten Körper für ruhend hält, einen ruhenden für bewegt, einen vorwärts gehenden für rückwärts gehend u. s. w. Helle Körper, die sich sehr geschwind bewegen, glaubt man eine kleine Weile noch an Stellen zu sehen, die sie bereits schon wieder verlassen haben. Schwingt man einen hellen Körper, z. B. eine glühende Kohle, in einem Kreise um, so sieht man einen ununterbrochenen hellen Kreis, wenn der



Digitized by Google

ganze Umschwung, nach den Versuchen des Herrn von Segner, nicht über eine halbe Sekunde dauert, weil die Eindrücke des Lichts auf die Netzhaut eine halbe Sekunde lang anhalten, wenn gleich der Körper, durch den der Eindruck bewirkt worden ist, unterdessen eine andere Stelle eingenommen hat. Dadurch, daß der Lichteindruck auf unser Auge höchstens eine halbe Sekunde lang dauert, kann man auch eine Schrift durch ein Stück Metall lesen, welches ein so großes Loch hat, daß man durch dasselbe, wenn es aufgelegt wird, einen Buchstaben sehen kann, nur muß man das Loch schnell von einem Buchstaben zum andern verschieben; langsam fortgeschoben, geht der Lichteindruck von den voraus gegangenen Buchstaben wieder verloren, und das Lesen geht nicht fort. Die sogenannten Thaumatrope oder Wunderdreher, wie die Kunsthändler sie auch nennen, wo durch schnelle Umdrehungen getheilte Figuren als ein Ganzes erscheinen, beruhen ebenfalls auf der Dauer des Lichteindrucks. Besteht ein Lichtstrahl, der von einem entfernten Gegenstand in unser Auge gelangt, aus mehreren einzelnen Stücken, so erscheint er uns doch als eine zusammenhängende gerade Linie, wenn auch die einzelnen Stücke mehrere tausend Meilen weit von einander getrennt sind. Dauert der Lichteindruck eines einzelnen Stückes auch nur ein Zehntel Sekunde, so können die Stücke, wegen der großen Geschwindigkeit des Lichts, schon über 4000 Meilen weit hinter einander herkommen, ohne daß uns die gerade Linie getrennt erscheine. Bewegt sich ein Körper auf das Auge zu, oder von dem Auge weg, und befindet er sich dabei in der Augenachse, so sieht man seine Bewegung nur dann, wenn er so nahe ist, daß man die Veränderungen, welche seine scheinbare Größe und Entfernung dadurch erleiden, wahrnehmen kann. Ist er aber so weit vom Auge, daß diese Veränderungen nicht mehr bemerkbar werden, so scheint er zu ruhen. Zu der Menge alltäglicher Erfahrungen, durch welche diese Behauptung sich rechtfertigt, gehört auch das Fortrücken der Fixsterne. Ein solcher Stern durchläuft in 24 Stunden einen ganzen Kreis von 360 Grad, und legt mithin in Zeit von einer Sekunde ein Bogenstück von 15 Kreissekunden zurück. Diese Bewegung ist aber, wenn man den Stern eine Sekunde lang beobachtet, nicht bemerkbar, und der Stern scheint in dieser Zeit geruht zu haben. Wenn demnach ein Gegenstand auch noch unter einem so kleinen Sehewinkel, wie der ist, der auf einem Bogen von 15 Sekunden steht, sichtbar ist, so kann doch seine Bewegung nicht bemerkt werden. Auch die Bewegung des Stundenzeigers auf dem Zifferblatt einer Uhr ist eine unwahrnehmbare. Bewegt sich das Auge, und ist man der Bewegung sich bewußt, so scheinen sehr entfernte Körper nach derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit die Bewegung mitzumachen. So scheint der Mond in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit mit fortzurücken, in welcher man sich selbst befindet. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in der großen Entfernung des Mondes von der Erde, gegen welche unsere Bewegung zu gering ist, um eine Veränderung in der Lage, welche durch die Bewegung entstanden ist, bemerken zu können. Die Lichtstrahlen nämlich, welche von dem Mond nach dem Auge gehen, sind, wegen der großen Entfernung, unter sich beinahe gleichlaufend, und treffen daher immer dieselben Stellen der Netzhaut. Bewegt man sich z. B. von a nach b (Fig. 162) und sieht man von a aus den Mond

Fig. 162.




Digitized by Google

in c, so scheint er von d aus gesehen nicht nach dc, sondern nach de, weil die Strahlen dc und de fast gleichlaufend sind. So ist es auch der Fall, wenn man bis nach f gekommen ist, wo man den Mond nicht nach fc, sondern nach fg sieht. Da man das Bewußtseyn hat, von a nach f gekommen zu seyn, so legt man dem Mond, der immer in derselben Lage gegen das Auge geblieben ist, eine gleiche Bewegung bei. Bewegt sich das Auge, ohne daß man der Bewegung sich bewußt ist, so entsteht die Täuschung, daß man das Auge für ruhend hält, und dagegen glaubt, es seyen die äußern Gegenstände, welche sich, und zwar nach entgegengesetzter Richtung, bewegten. Dieses ist z. B. der Fall bei der Achsenumdrehung der Erde, von welcher man kein Bewußtseyn hat, und wodurch der Wahn entsteht, daß die Sonne auf- und untergehe. In einem Schiffe fahrend ist es mit den Gegenständen am Ufer derselbe Fall. Ist das Auge in einer bewußtlosen Bewegung und bewegt sich zugleich auch der sichtbare Gegenstand, so wird die Täuschung noch zusammengesetzter, wie dieses u. a. mit den verwirrt scheinenden Bewegungen der Planeten, die man deßhalb auch Irrsterne genannt hat, der Fall ist.

So wie Entfernung und Bewegung, so wird auch die wahre Gestalt eines Gegenstandes nicht unmittelbar empfunden, sondern beurtheilt. Das Bild eines Gegenstandes auf der Netzhaut ist ja nur ein Phantom, also kein Körper, sondern nur eine Fläche, indessen der sichtbare Gegenstand immer ein Körper ist. Was also vom Auge als Fläche empfunden wird, steht, besonders für irdische Gegenstände, im Bewußtseyn als Körper da. Auch hier wird demnach der Empfindung durch die Erfahrung nachgeholfen, wozu denn auch der Wechsel von Licht und Schatten das Seinige beiträgt.

Hierauf beruht auch die Perspective, d. i. die Kunst, sichtbare Gegenstände so auf einer Fläche darzustellen, daß sie dem Auge aus einem angenommenen Standpunkte in ihrer verschiedenen Lage, Gestalt und Entfernung erscheinen. Man theilt sie in die geometrische Perspective, welche lehrt, die Umrisse eines Gegenstandes so zu zeichnen, daß sie dem Auge wie in der Wirklichkeit erscheinen, und in die Luftperspective, welche Anleitung zur richtigen Benutzung von Licht und Schatten und zur Abstufung der verschiedenen Entfernungen gibt. Beide zusammen machen die Grundlage der Malerei aus. Was sonst noch in einem Gemälde liegt, und den Beschauer hinzureißen vermag, gehört dem Genie des Malers an.

Zu den optischen Täuschungen über Entfernung, Bewegung und Gestalt der Gegenstände gesellen sich auch die, welche über die wahre Größe eines Gegenstandes sich zutragen. Der Erfahrung gemäß, sieht man entfernte Gegenstände viel kleiner, als sie in der Nähe aussehen, wie dieses auch dem Sehewinkel nach seyn muß. Sind es aber solche Gegenstände, welche man oft nahe und fern schon gesehen hat, so erscheinen sie uns stets in ihrer wahren Größe. Hier ist also abermals eine Verschmelzung des Urtheils mit der Empfindung im Spiel. So sieht man einen sonst bekannten Menschen auch in der Entfernung sogleich in seiner wahren wohlbekannten Größe vor sich stehen, obgleich er dem Sehewinkel nach viel kleiner aussehen sollte. Sogar die wahre Größe eines unbekannten Gegenstandes, den man unter Umgebungen sieht, deren wahre Größe bekannt ist, wird dadurch oft ganz richtig beurtheilt.

Ungemein groß ist die Zahl der irdischen und himmlischen Erschei-

Digitized by Google

nungen, welche sich aus der Vermischung des bewußtlosen Urtheils mit der Empfindung und der daher entstehenden optischen Täuschungen erklären lassen. Außer denen, welche bereits angeführt worden sind, sollen noch folgende hier erklärt werden.

1) Dinge, die man senkrecht über oder unter sich sieht, oder die senkrecht in die Höhe sich erstrecken, scheinen viel kleiner zu seyn, als in einer wagerechten Lage. Denkt man sich z. B. einen Thurm seiner Länge nach auf der Erde liegend, so würde er bei weitem länger erscheinen, als er in seiner senkrechten Stellung erscheint. Ein Mensch, oder eine Sache auf einem zweihundert Fuß hohen Thurm sich befindend, scheint von unten an der Erde aus bei weitem kleiner als in einer zweihundert Fuß weiten horizontalen Entfernung. Mit den Gegenständen, welche man von einem Thurm aus unten an der Erde sieht, ist es wieder so; sie scheinen viel kleiner, als sie in einer eben so großen horizontalen Entfernung aussehen. Diese optischen Täuschungen lassen sich daraus erklären, daß wir weit mehr Uebung in der Schätzung horizontaler Entfernungen als senkrechter Höhen haben. Auch kommen uns bei der Beurtheilung horizontaler Entfernungen viel zwischenliegende Gegenstände, die mit gesehen werden, in so fern zu statten, daß sie uns zu Vergleichungen dienen. Bei der Beurtheilung einer senkrechten Entfernung aber sind in der Regel weniger zwischenliegende Gegenstände vorhanden, und in ziemlicher Höhe hören sie endlich ganz auf. Aus Mangel solcher Gegenstände, durch welche wir unser Urtheil zu berichtigen vermögen, halten wir daher eine senkrechte Entfernung für näher, als sie wirklich ist, und legen darum dem sichtbaren Gegenstand eine geringere Größe bei, als er wirklich hat. Hieraus läßt sich dann auch erklären, warum man Sonne und Mond, wenn sie am Horizonte hin stehen, für größer hält, als mitten am Himmel. Da wir nämlich die horizontale Entfernung für größer als die senkrechte halten, so entsteht die Meinung in uns, diese Weltkörper müßten, wenn sie am Horizont stehen, auch einen kleinern Sehewinkel bilden, als in ihrem Stand oben am Himmel. Da aber in beiden Stellungen der Sehewinkel derselbe ist, so verfallen wir dadurch in eine andere Täuschung, und bilden uns ein, daß der Körper, der in einer größern Entfernung unter demselben Sehewinkel erscheine, als in einer andern Entfernung, die wir für kleiner hielten, sich vergrößert haben müsse. Dieselbe Täuschung findet auch bei'm Anblick des sichtbaren Theils des Himmelsgewölbes statt. Dieses sollte uns wie die innere Fläche einer hohlen Halkugel erscheinen, also überall hin eine gleiche Entfernung von uns haben. Da wir aber die Theile des Gewölbes, welche senkrecht über uns liegen, für näher halten, als die weiter nach dem Horizont hin liegenden Theile, so glauben wir, das Himmelsgewölbe müsse gerade über uns sehr platt und eingedrückt seyn.

2) Liegt ein Gletscher und ein anderer Berg in gleicher Entfernung von uns, so scheint jener, seiner größern Helligkeit wegen, uns doch näher als dieser zu liegen. Eine ähnliche Erscheinung findet bei Zimmern statt, deren Wände frisch ausgeweißt worden sind; weil wir nämlich die hellern Wände für näher zusammenliegend halten, so glauben wir, die ausgeweißten Zimmer seyen kleiner als vorher geworden. Bei bewölktem Himmel und nebliger Witterung scheinen auch die Gegenstände weiter entfernt zu seyn, als bei hellem Himmel. Da sie indessen immer denselben Sehewinkel machen, so verfallen wir, wie bei Sonne und Mond am Horizont,

Digitized by Google

in die Täuschung, entfernte Gegenstände bei trüber Witterung für größer zu halten.

3) Bei'm Anblick einer großen Wasserfläche oder weiten Ebene scheinen entferntere Theile den Wolken sich zu nähern, weil der Raum, der zwischen der Ebene und den Wolken liegt, wie bei einer langen Allee, unter immer abnehmendem Sehewinkel gesehen wird. Ein nahe fliegendes oder kriechendes Käferchen, gegen welches das Auge schief gerichtet ist, und das unvermuthet gesehen wird, kann einem wie ein großer Vogel, der in der Ferne fliegt, oder wie ein großes Thier, das in der Ferne umherläuft, vorkommen, weil durch den großen Sehewinkel, den das Käferchen seiner Nähe wegen im Auge, von dem es nicht deutlich gesehen wird, macht, die Vorstellung verleitet wird, einen fernen viel größern Gegenstand zu vermuthen. Mit den Schauspielern und andern Gegenständen, welche man auf einem Theater steht, wo sie von perspectivischen Decorationen umgeben sind, geht es einem eben so; sie scheinen viel größer zu seyn. Wir vergleichen sie nämlich mit einem Baum oder sonst etwas, welches in der perspectivischen Zeichnung eine ferne Lage zu haben scheint, und sehen sie, ihrer Nähe wegen, an einem solchen Gegenstand weit emporragen.

4) Auf Landstraßen, wo Erhöhungen und Vertiefungen mit einander abwechseln, scheinen uns hervorragende Häuser, Thurmspitzen u. s. w. näher zu liegen, als sie es wirklich sind, weil ein Theil des Weges durch die Unebenheiten unsichtbar bleibt. Da man nun, um diese Gegenstände zu erreichen, viel länger gehen muß, als man sich eingebildet hat, so kommt einem natürlich der Weg ungemein lang vor.

Berge und Thürme, die man auf einem Berg oder Thurm stehend sieht, scheinen daher, da jetzt keine solche Unebenheiten mehr da sind, sich viel näher zu liegen. Aus demselben Grunde halten wir auch das jenseitige Ufer eines Stromes für viel näher, als es wirklich ist.

In der That, die Menge der optischen Täuschungen, welche aus der Vermischung eines bewußtlosen Urtheils mit der Empfindung entsteht, ist überaus groß, und so innig mit unserm Wesen verwebt, daß sie Niemand von sich abwehren kann. Eine Steigerung, die keine Regel und keine Gränze hat, erleiden aber die optischen Täuschungen erst vollends, wenn eine erhitzte Einbildungskraft, Aberglauben, fest gewurzelte Vorurtheile, schwärmerische Ideen sich mit einmischen. Dem Teufel wirft man dann das Dintenfaß an den Kopf, und tausenderlei Gestalten, von denen die Vernunft nichts weiß, gaukeln um einen her. Je gespannter der Seelenzustand des Menschen ist, desto mehr ist er auch solchen Täuschungen preisgegeben, und wie gering mag die Zahl derer seyn, die im Ernst von sich sagen können, daß sie auf diese Weise nie getäuscht worden sind. Eben so ist aber auch ein gutes Schutzmittel gegen manche optische Täuschung ein gutes Augenmaß, d. h. die Fertigkeit, gesehene Gegenstände nach Gestalt, Größe, Lage und Entfernung schnell und richtig beurtheilen zu können, was nur allein durch anhaltende Uebung zu erlernen ist.

**§ 197.** (Zurückwerfung des Lichts.) Das Licht, welches auf undurchsichtige Körper fällt, durch welche es nicht hindurchgehen kann, und von welchen es auch nicht verschluckt wird, geht wieder, wegen der sehr großen Elastizität der Aethertheilchen, deren Wellen sich gegenseitig verstärken und unterstützen, durch dasselbe Mittel zurück, durch welches es [gekom-

Digitized by Google

men ist. Diesen Rückgang nennt man die Zurückwerfung oder die Reflexion des Lichts.

Die Erscheinungen, welche durch die Zurückwerfung entstehen, hängen von der Befähigung des Körpers, das Licht in größerer oder geringerer Vollkommenheit zurückzuwerfen, ganz vorzüglich ab. Diese Befähigung liegt aber einestheils in der Farbe des Körpers, von welchem das Licht zurückgeworfen wird, anderntheils und hauptsächlich auch in der Beschaffenheit dessen Oberfläche. Fällt das Licht auf die Oberfläche eines dunkeln Körpers, von welcher es zwar zurückgeworfen, nur nicht in derselben Ordnung zurückgeworfen wird, in welcher es auf sie zuging, so bewirkt die Zurückwerfung auch nichts weiter, als daß die erleuchtete Oberfläche des Körpers dem Auge sichtbar wird. Dunkle Körper sind in der That auch nur dadurch sichtbar, daß sie das auffallende Licht wieder zurückstrahlen. Leiteten sie es ganz durch sich hindurch, oder verschlucken sie es ganz, so könnten sie auch nicht mehr gesehen werden. Fällt aber das Licht auf die Oberfläche eines dunkeln Körpers, von welcher es in derselben Ordnung wieder zurückgeworfen wird, in welcher es auffiel, so bilden die zurückgeworfenen Strahlen den Gegenstand ab, von welchem das Licht herkam. In diesem Falle hat das Auge, in so fern es die gehörige Lage hat, diese Zurückwerfung wahrnehmen zu können, dieselbe Empfindung, die es von dem Gegenstand selbst haben würde, und dieses eben nennt man den Anblick eines Gegenstandes im Bilde.

Auf die Frage: Wie muß aber die Oberfläche eines dunkeln Körpers beschaffen seyn, wenn durch das von ihr zurückstrahlende Licht ein Bild des Gegenstandes entstehen soll, von welchem das Licht auf die Fläche hinfällt? gibt die Erfahrung die Antwort. Diese zeigt es, daß nur solche Körper, deren Oberfläche glatt und eben ist, die Eigenschaften besitzen, welche zur Hervorbringung eines Bildes erforderlich sind. Nur von solchen Oberflächen gehen die sogenannten Lichtstrahlen, welche von andern Gegenständen auf sie gelangen, in derselben Ordnung wieder zurück, in welcher sie aufgefallen sind, und lassen sie die Abbildung des Gegenstandes zu. Von Körpern aber, deren Oberfläche rauh und uneben ist, werden die Lichtstrahlen, welche von andern Gegenständen darauf gelangen, aus deren vielen Erhöhungen und Vertiefungen so unordentlich und so durcheinander fahrend zurückgeworfen, daß sie zu keinem vollständigen Bild sich zu vereinigen vermögen. Diese Zurückwerfung bewirkt also bloß, daß die Oberfläche, auf welche das Licht fällt, sichtbar wird.

Ein Körper, dessen Oberfläche glatt und eben genug ist, um die Lichtstrahlen, welche von einem andern Gegenstand auf sie gelangen, in einer solchen Ordnung wieder zurückzuwerfen, daß dadurch ein Bild dieses Gegenstandes entstehen kann, wird überhaupt ein Spiegel, und die reflectirende Oberfläche selbst eine Spiegelfläche genannt.

Im Grunde kann man eigentlich die Oberfläche eines jeden Körpers, so bald sie nur erforderlichermaßen geglättet ist, als Spiegelfläche betrachten, und dieses gilt sogar von den durchsichtigen Körpern, z. B. von Glasscheiben, obschon diese das Licht durch sich hindurch lassen. Auch spiegelt schon jede Fläche, wenn sie einigermaßen eben ist, wenn man sehr schräge auf sie hinsieht. Dergleichen Spiegelungen geben indessen so undeutliche Bilder, daß sie kaum zu den Spiegelflächen gezählt werden können. Auch gibt es Körper, deren Oberfläche dem Gefühle nach recht glatt und eben zu seyn scheint, wie z. B. die Oberfläche eines gut geglätteten Velinpapiers, und die dennoch nicht spiegeln. Man darf aber nur einen solchen

Digitized by Google

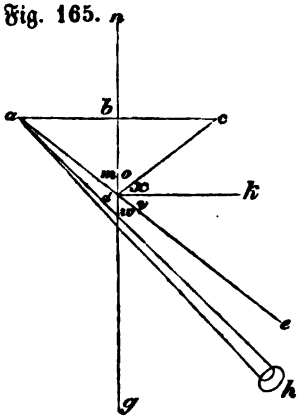
Körper durch das Mikroskop betrachten, um sich zu überzeugen, daß dessen Oberfläche für die überaus große Feinheit des Lichts oder der Lichtwellen noch viel zu rauh und uneben ist, um eine Spiegelfläche seyn zu können. Als eigentliche von der Natur gebildete Spiegelflächen bleiben daher nur flüssige Körper, besonders Wasser und Queckſilber, die über einem dunkeln Grunde stehen, übrig, und die man auch die natürlichen Spiegel zu nennen pflegt. Ein solcher flüssiger Körper, der, wie z. B. ein stillstehendes, helles und klares Wasser, an und für sich durchsichtig ist, leitet die Lichtstrahlen, welche andere Gegenstände auf ihn fallen lassen, bis auf seinen dunkeln Grund fort, von wo aus sie durch den flüssigen Körper, der die Rauhigkeiten und Unebenheiten des dunkeln Grundes ausfüllt, wieder in das Auge in gehöriger Ordnung reflectirt werden. Sogar Nebel erzeugen eine unvollkommene Spiegelung, wovon man sich eine Wahrnehmung verschaffen kann, wenn man im Finstern bei dickem Nebel ein Licht in ein geöffnetes Fenster setzt, oder in den Nebel hinaushält, wo dann das Licht und das eigne Bild reflectirt werden. Daher kommt es auch, daß manche Menschen schon ihr eigenes Bild sahen, wenn sie, mit einem Lichte versehen, in einem sehr dunstigen Zimmer sich befanden. Der Fall gehört freilich zu den Seltenheiten, weil die dazu erforderlichen Umstände sich selten zusammenfinden, aber eben deßhalb ist auch die Erscheinung um so auffallender, und wird von abergläubischen Menschen gewöhnlich, als ein Zeichen ihres nahen Todes, mit nicht geringem Schauder wahrgenommen. Eine große Deutlichkeit besitzt aber das Bild eines solchen natürlichen Spiegels keineswegs, da ein jeder flüssige Körper nicht nur undurchsichtige Theile hat, welche nicht mehr reflectiren, sondern auch solche Theile, welche einen aufgefangenen Lichtstrahl mehrfach zurückwerfen. Zu den vollkommenen Spiegeln gehören demnach nur die künstlichen Spiegel, die man aus festen Körpern, denen man den erforderlichen Grad von Politur geben kann, verfertigt, und unter welchen einige einfache und zusammengesetzte Metalle den ersten Platz einnehmen. Selbst die Glasspiegel sind im Grunde nichts Anders als Metallspiegel, da nicht das Glas, sondern eigentlich nur dessen hintere Belegung, aus einem Amalgama von Zinn und Queckſilber bestehend, die Spiegelung erzeugt.

Obgleich die Glasspiegel für den gewöhnlichen Gebrauch vollkommen hinreichend sind, so können sie jedoch zu optischen Versuchen, bei welchen eine große Genauigkeit verlangt wird, nicht mehr benutzt werden. Denn außerdem, daß ein jeder Glasspiegel eine doppelte Spiegelung, von der Vorder- und Hinterfläche her, veranlaßt, wird auch der Lichtstrahl, welcher bis zur Hinterfläche des Spiegels gelangt, im Glase erst mehrere Mal gebrochen. Dergleichen Nebenumstände benehmen aber den Erscheinungen, als bloße Wirkungen der Reflexion, gar Vieles an reiner Darstellung. Nach den Versuchen des Grafen von Rumford geht, auch bei einem sehr guten ebenen Glasspiegel, noch immer über ein Drittel des auffallenden Lichts gänzlich verloren. Zu genauem optischen Gebrauche sind daher Metallspiegel von weit vorzüglicherm Werth und ganz unentbehrlich. Je härter, dichter und weißer das Metall ist, je weniger es durch Luft und Feuchtigkeit an Politur und Glanz verliert, desto vortrefflicher sind die Spiegel, welche es liefert. Am besten eignen sich dazu Metallcompositionen, die hart und spröde sind, und sich gut poliren lassen. Eine Mischung von 32 Theilen Kupfer, 15 Theilen Zinn, 1 Theil Messing und 1 Theil Arsenik hält man für eine der vorzüglichsten Spiegelcompositionen.

Digitized by Google

§ 198. (Ebene Spiegel.) Es ist eine allgemein bekannte Erfahrung, daß ein ebener Spiegel die Eigenschaft besitzt, von den Gegenständen, deren Licht auf den Spiegel fällt, solche Bilder zu zeigen, welche den Gegenständen selbst ganz ähnlich sind. Diese Bilder werden in dem Spiegel, oder, richtiger, hinter demselben wahrgenommen, und schon dem Augenschein nach so weit dahinter liegend, als der Gegenstand davor ist. Diese merkwürdigen Erscheinungen verdienen eine nähere Betrachtung, erfordern aber einige, wenn auch nur geringe, mathematische Kenntnisse, um ganz verstanden zu werden. Unter ng (Fig. 165) stelle man sich den Durchschnitt eines ebenen Spiegels vor, auf welchen ein davor stehender leuchtender Gegenstand Lichtstrahlen fallen läßt, und denke sich, um die Betrachtung zu vereinfachen, diesen leuchtenden Gegenstand vorerst nur als einen leuchtenden Punkt c. Von den unzählig vielen Lichtstrahlen, welche von diesem Punkt auf den Spiegel fallen, braucht man aber nur zwei, einen senkrechten bc und einen schiefen dc, auszuheben, um sich die Erscheinung erklären zu können. Da nämlich cd ein schiefer Strahl ist, so wird er nach de reflectirt, und dk ist das Einfallsloth. Daher ist der Winkel x dem Winkel v gleich. Verlängert man nun den senkrechten Strahl bc, der in sich selbst zurückgeworfen wird, und auch den reflectirten Strahl de hinter den Spiegel hin so weit, bis sie sich irgendwo treffen, z. B. in a, so entstehen zwei Dreiecke, abd und cbd, die congruent seyn müssen. Denn da o und x zusammen einen rechten Winkel ausmachen, und w und v ebenfalls, x aber gleich v ist, so muß auch o gleich w seyn. Aber auch m ist gleich w, weil es Scheitelwinkel sind, folglich ist auch m gleich o. Die beiden Dreiecke haben daher einen gleichen Winkel, sind bei b rechtwinkelig und haben die Seite bd gemeinschaftlich. Solche Dreiecke sind aber, wie in der Geometrie erwiesen wird, einander congruent, folglich ist ab auch gleich bc, und ad gleich cd, d. h. der Ort, wo die verlängerten Strahlen sich treffen, liegt so weit hinter dem Spiegel, als der leuchtende Punkt davor ist.

Fig. 165.




Zieht man noch mehrere Strahlen, die von c aus schief auf die Spiegelfläche fallen, und die in der Zeichnung bloß deßhalb nicht gezogen sind, um sie nicht zu sehr zu überladen, so wird man auch leicht denselben Beweis wiederholen, und daraus abnehmen können, daß sie alle an demselben Punkt a hinter dem Spiegel sich vereinigen müssen.

Befindet sich nun das Auge in b, so sieht es alle Lichtstrahlen, die von c auf den Spiegel fallen, in dem Punkt a hinter dem Spiegel, wo sie sich vereinigen. Es empfängt daher den Eindruck so, als ob diese Strahlen wirklich von a herkämen, weil man die Lage eines Gegenstandes nach der Richtung beurtheilt, nach welcher seine Lichtstrahlen zum Auge gelangen.

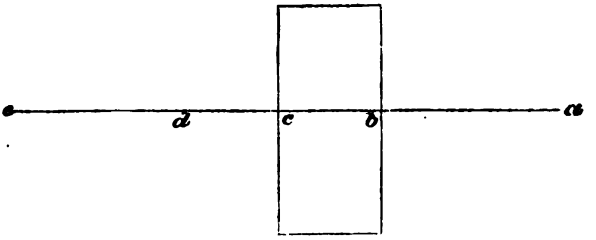
Hat man einmal eingesehen, woher es kommt, daß das Bild eines einzigen Punktes hinter dem Spiegel, und zwar so weit dahinter erscheinen muß, als der Punkt davor ist, so kann man leicht erachten, daß dieses

Digitized by Google

auch für eine Menge zusammenhängender Punkte, d. i. für jeden Gegenstand, der Fall seyn muß. In einem ebenen Spiegel macht daher ein jeder Gegenstand ein Bild, welches ihm an Größe und Gestalt vollkommen gleich ist, und von welchem jeder Theil so weit hinter dem Spiegel liegt, als derselbe Theil des Gegenstandes vor demselben sich befindet. Die Deutlichkeit des Bildes aber hängt von dem größern oder geringern Grade der Politur der Spiegelfläche ab; je vollkommner diese ist, desto deutlicher wird auch das Bild des Gegenstandes darin. Könnte man eine Spiegelfläche so vollkommen poliren, daß auch nicht die allergeringste Rauhigkeit und Unebenheit zurückbliebe, so würde das Bild eines Gegenstandes nicht nur den höchsten Grad der Deutlichkeit besitzen, sondern die Spiegelfläche selbst würde auch gar nicht mehr gesehen werden. Da aber eine solche Politur nicht zu erreichen ist, da vielmehr bei einem jeden Spiegel, wenn er auch noch so vollkommen zu seyn scheint, immer noch Unebenheiten und rauhe Flächen zurückbleiben, welche das Licht unordentlich und durcheinander fahrend zurückwerfen, so wird dadurch die Spiegelfläche erleuchtet, und selbst sichtbar.

Die zwei Bilder, welche in einem ebenen Glasspiegel sich zeigen, wenn man schief dagegen steht, was man auch mittelst eines Lichtes wahrnehmen kann, das nicht senkrecht den Spiegel trifft, sind allemal um die doppelte Dicke des Spiegelglases von einander entfernt. Stellte nämlich

Fig. 166.




(Fig. 166) die Dicke des Spiegels vor, a einen Gegenstand vor dem Spiegel, d und e die beiden Bilder, so ist:

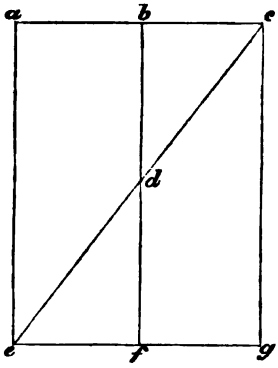
$$\begin{aligned} 1)\ & ab = bc + cd \\ 2)\ & ab + bc = cd + de \\ \text{also}\ & bc + cd + bc = cd + de \\ \text{oder}\ & 2bc + cd = cd + de \\ \text{daher}\ & 2bc = de. \end{aligned}$$

Durch die Entfernung dieser beiden Bilder, die mit der Dicke des Glases zunimmt, kann man auch die Dicke zweier Spiegelgläser gegen einander vergleichen. Geringe Glasspiegel können sogar mehr als zwei Bilder zeigen.

Der Erfahrung gemäß kann sich auch eine Person ganz in einem Spiegel sehen, obgleich der Spiegel weder so lang, noch so breit als die Person ist. Auch dieses ist nicht schwer einzusehen, wenn man folgende Betrachtung zu Hülfe nimmt. Da dieses jedoch erst dann stattfindet, wenn die Stellung der Person mit der Stellung des Spiegels gleichlaufend ist,

Digitized by Google

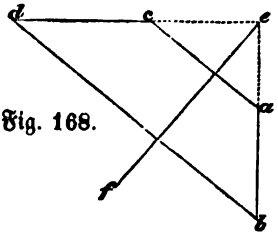
Fig. 167.




so stelle man sich vor, eg (Fig. 167) sey die Länge der Person von dem Auge bis zu den Füßen, df ein Spiegel, und ae das Bild der Person. Da nun die Strahlen, welche von dem untersten Punkt des Bildes zum Auge gelangen, die Spiegelfläche in d durchschneiden, so ist auch eigentlich nur das Stück bd der Spiegelfläche wirksam, und der übrige Theil df trägt nichts mehr zur Wahrnehmung des ganzen Bildes der Person bei. Diese kann daher ihr Bild ganz sehen, wenn der Spiegel auch nur die Länge bd hat. Daß übrigens die Länge des Spiegels wenigstens halb so groß seyn muß, als die Länge der Person, wenn diese in gleichlaufender Stellung mit dem Spiegel ihr ganzes Bild darin sehen soll, ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, daß das Bild ae so weit hinter dem Spiegel ist, als die Person eg davor steht, daß mithin ab halb so groß als ae ist, und daß, weil bd parallel mit eg und ae ist, die Dreiecke bcd und aec ähnlich seyn müssen. Hieraus ergibt sich, daß ae sich eben so zu bd verhält, wie sich ac zu ab verhält, folglich muß bd auch halb so groß als ae oder eg seyn. Derselbe Beweis läßt sich auch von der Breite des Spiegels führen; auch diese muß wenigstens die Hälfte von der Breite der Person betragen, wenn diese sich ganz darin sehen will.

Aus dem, was bis jetzt über die Erscheinungen in einem ebenen Spiegel erklärt worden ist, folgt leicht von selbst, daß nur dann die Bilder der Gegenstände im Spiegel mit den Gegenständen selbst eine gleiche Lage haben, wenn der Spiegel eine vertikale Stellung hat. In einem so gestellten Spiegel erscheinen die liegenden Gegenstände liegend, die stehenden stehend. Ist aber die Lage des Spiegels gegen die Lage der Gegenstände geneigt, so müssen auch die Bilder der Gegenstände in einer andern Lage als die Gegenstände sich zeigen. Dieses ist eine nothwendige Folge des Gesetzes, daß jeder Theil von dem Bild eines Gegenstandes eben so weit hinter dem Spiegel erscheint, als eben dieser Theil bei'm Gegenstande vor dem Spiegel ist. Daher muß in einem Spiegel, der mit dem Horizont einen Winkel von 45 Grad macht, das Bild eines stehenden Gegenstandes liegend, und eines liegenden Gegenstandes stehend erscheinen. Ist z. B. ab (Fig. 168) ein stehender Gegenstand, ef ein Spiegel, der unter einem Winkel von 45 Graden gegen den Horizont geneigt ist, so sieht man das Bild von a in c, das von b in d. Da nun die Verlängerungen von ab und cd bei e unter einem rechten Winkel sich treffen müssen, so muß nothwendig de, also auch dc horizontal seyn, wenn be oder ab senkrecht ist In einem so geneigten Spiegel scheinen daher fallende Gegenstände zu steigen, steigende zu fallen, und eine Kugel, welche auf einer horizontalen Ebene rollt, sieht im Spiegel so aus, als ob sie eine schiefe Ebene hinauf rollte. Hat ein Spiegel eine horizontale Lage, so müssen sich alle

Fig. 168.




Digitized by Google

Gegenstände verkehrt darin zeigen, wie man dieses bei jedem stillstehenden Wasser, in welchem sich Bäume, Häuser u. s. w. spiegeln, wahrnimmt.

Bringt man zwei ebene Spiegel in gleichlaufender Richtung gegen einander über an, so muß ein Gegenstand, welcher zwischen ihnen sich befindet, sowohl in dem einen als dem andern Spiegel unzählig vielmal abgebildet werden, weil jedes Bild in dem einen Spiegel auch wieder ein Bild in dem andern Spiegel erzeugt. Hierdurch entsteht abwechselnd in dem einen und dem andern Spiegel eine Reihe in gleichen Entfernungen hinter einander liegender Bilder. Nur werden die Bilder, je entfernter sie hintereinander liegen, immer undeutlicher, weil bei jeder neuen Reflexion einige Lichttheile verloren gehen. Sind die Spiegel nicht parallel, sondern unter einem Winkel zusammengesetzt, so wird ein Gegenstand, der zwischen ihnen liegt, zwar ebenfalls mehrfach abgebildet erscheinen müssen, allein die Bilder, welche nun entstehen, sind doch immer von einer bestimmten Anzahl, weil man zuletzt immer auf ein Bild kommen wird, dessen Lage nicht mehr in die Ebene des Spiegels fällt, in welchem es sich abbilden soll. Je kleiner aber der Winkel ist, unter welchem beide Spiegel sich gegeneinander neigen, je näher sie demnach der parallelen Richtung kommen, desto größer wird auch die Bilderzahl eines Gegenstandes darin. Ist der Winkel, den die Spiegel bilden, genau in 360 Grad enthalten, so erscheint der Gegenstand so oftmal abgebildet, so vielmal der Winkel in 360 enthalten ist, wenn man den Gegenstand selbst mit dazu rechnet. Rechnet man aber den Gegenstand nicht mit, so hat man eine Abbildung weniger, als der Winkel in 360 enthalten ist.

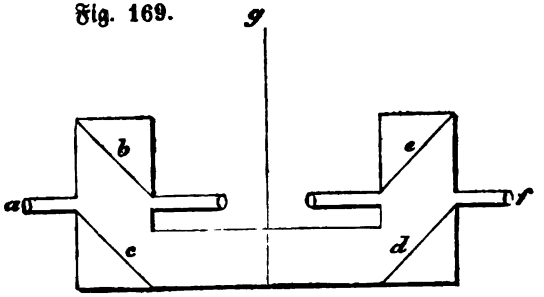
Bilden z. B. die Spiegel einen Winkel von 40 Grad, so hat man, da 40 in 360 neunmal enthalten ist, auch neun Abbildungen, wenn man den Gegenstand selbst mit dazu zählt, oder acht ohne denselben. Liegen zwischen zwei Winkelspiegeln mehrere Gegenstände, so bilden sie, in so fern nur der Winkel genau in 360 enthalten, also ein genauer Theil eines Kreises ist, allerlei regelmäßige Figuren. Hierauf gründet sich auch das von Brewster in Edinburgh erfundene Kaleidoskop oder Prachtseherohr, wie Einige es genannt haben, und welches, als es bekannt wurde, ungemeines Aufsehen erregte, und schnell allgemeinen Eingang fand. Die Hauptbestandtheile des Kaleidoskops sind zwei spiegelnde Flächen, die in einer Röhre sitzen, und in welchen man Abbildungen von verschiedenen zwischen ihnen liegenden kleinen Gegenständen, die an Gestalt und Farbe verschieden sind, erblickt. Je nachdem die spiegelnden Flächen einander parallel sitzen, oder irgend einen Winkel bilden, sieht man diese oder jene regelmäßige Figur der dazwischen liegenden Gegenstände sich abbilden, und diese Figur ändert sich jedesmal ab, so wie das Kaleidoskop gedreht wird, und die Gegenstände dadurch ihre Lagen gegeneinander verändern. Am gefälligsten werden die Figuren, wenn die spiegelnden Flächen unter einem Winkel von 45, oder 36 oder 30 Grad sich gegeneinander neigen. Es ist nicht zu läugnen, daß das Kaleidoskop für Anstalten, welche gefälliger Muster bedürfen, z. B. in Kattundruckereien u. s. w. nicht ohne Nutzen ist, da es eine so große Menge regelmäßiger und gefälliger Figuren liefert, die man abzeichnen und benutzen kann, dessen ungeachtet ist es dennoch wenig mehr als eine bloße Spielerei.

Die sogenannten Zauberperspective, vermittelst welchen man anscheinend durch ein Brett oder über eine Mauer weg sehen kann, so wie das Polemoskop oder der Operngucker, welches wie ein gewöhnliches

Digitized by Google

Taschenperspectiv ausstieht, mit welchem man aber nicht die Gegenstände sehen kann, nach denen es gerichtet zu seyn scheint, sondern solche, die ihnen seitwärts liegen, beruhen ebenfalls auf Spiegeln, welche innerhalb einer Röhre unter einem Winkel von 45 Grad angebracht sind. Es sey, um sich von der Einrichtung eines solchen Zauberperspectivs eine Vorstellung machen zu können, vor der Röhre a (Fig. 169) ein sichtbarer

Fig. 169.




Gegenstand. Die Lichtstrahlen, die von diesem Gegenstand ausfahren, gehen durch diese Röhre und fallen auf den Spiegel b, dieser reflectirt sie nach dem Spiegel c, dieser wieder nach dem Spiegel d und dieser reflectirt sie nach dem Spiegel e. Befindet sich nun das Auge bei f, so sieht es die von dem Spiegel e reflectirten Lichtstrahlen und folglich ein Bild des Gegenstandes, welcher vor a sich befindet. Stellt man zwischen die innern Röhren von g herab ein Brett, welches nun zwischen dem Auge und dem Gegenstand steht, so sieht es so aus, als ob man den Gegenstand durch das Brett hindurch sehen könne. Gleiche Bewandtniß hat es mit andern Arten solcher Zauberperspective, deren Gebrauchswerth jedoch nicht erheblich ist.

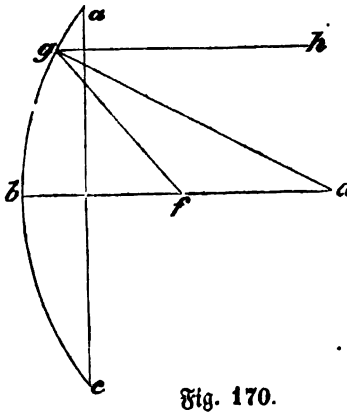


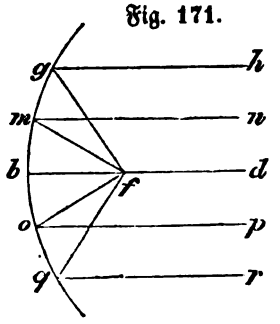

Fig. 170.

§ 199. (Hohlspiegel) Wenn agbc (Fig. 170) einen Hohlspiegel vorstellt, der aus einem Kugelabschnitt besteht, und d der Mittelpunkt dieser Kugel ist, so nennt man eben diesen Punkt d auch den geometrischen Mittelpunkt des Spiegels, der Punkt b aber, der in der Mitte des Spiegels liegt, wird dessen optischer Mittelpunkt genannt. Der Halbmesser bd oder dg, überhaupt jeder Halbmesser der Kugel, zu welcher der Hohlspiegel gehört, wird auch der Halbmesser des Hohlspiegels genannt, die Sehne ac aber heißt dessen Breite, zuweilen auch dessen Durchmesser, so wie ab oder bc dessen halbe Breite oder Oeffnung genannt wird. Da jeder Halbmesser einer Kugel senkrecht auf der Kugelfläche steht, so ist an jeder Stelle des Spiegels der dahin treffende Halbmesser auch das Einfallsloth für diese Stelle (§ 197). So ist z. B. der Halbmesser gd das Einfallsloth für den Strahl hg. Wird nun dieser Strahl nach gf zurückgeworfen, so muß auch der

Digitized by Google

Winkel hgd, welches der Einfallswinkel ist, dem Zurückwerfungswinkel dgk gleich seyn. Alle Strahlen aber, welche in der Richtung eines Halbmessers auf den Spiegel treffen, sind senkrecht auffallende Strahlen, und werden daher in sich selbst zurückgeworfen. Da man eine gerade Linie von unbestimmter Länge, welche in der Richtung db, d. h. durch den geometrischen Mittelpunkt, nach dem optischen Mittelpunkt des Spiegels geht, die Achse, auch die Hauptachse des Spiegels nennt, so folgt, daß ein Lichtstrahl, welcher in der Richtung dieser Achse auf den Spiegel fällt, ebenfalls in sich selbst zurückgeworfen werden muß. Dagegen läßt es sich mathematisch erweisen, daß alle andere Strahlen, welche in paralleler Richtung mit der Achse auf den Spiegel fallen, wie z. B. (Fig. 171) gh, mn, op, qr, in der That so zurückgeworfen werden, daß sie alle in einem sehr kleinen Raum f, der innerhalb der Spiegelachse und in der Mitte des Halbmessers bd liegt, zusammen treffen müssen.

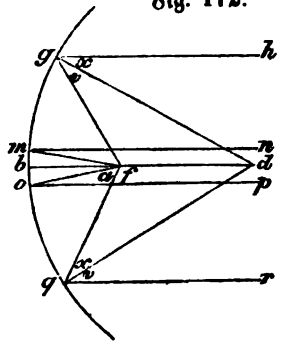
Fig. 171.




Durch die Vereinigung aller mit der Achse in paralleler Richtung auffallenden Strahlen in dem kleinen Raum f entsteht, wenn man die Achse gegen die Sonne richtet, in diesem Raume, der hier fast nur als ein bloßer Punkt zu betrachten ist, nicht nur ein sehr helles und blendendes Licht, sondern auch eine so große Hitze, daß brennbare Körper, z. B. ein Stückchen Zunder, Papier, Holz und dergl., die in diesem Raum liegen, sich augenblicklich entzünden. Darum nennt man auch einen Hohlspiegel, mit welchem man solche Entzündungen bewirken kann, einen Brennspiegel, und der kleine Raum f, wo die Strahlen, welche mit der Achse parallel gehen, sich vereinigen; und wo daher die Entzündung statt hat, wird der Brennpunkt (Focus) genannt. Die Entfernung des Brennpunkts von dem optischen Mittelpunkt des Spiegels heißt dann die Brennweite.

Da der Brennpunkt f in der Mitte des Spiegelhalbmessers liegt, so muß die Brennweite immer desto weiter von dem optischen Mittelpunkt des Spiegels wegrücken, je größer dessen Halbmesser ist. Bei einem Brennspiegel, dessen Achse gegen die Sonne gerichtet ist, muß demnach der Körper, der entzündet werden soll, zwei Fuß weit von dem optischen Mittelpunkt b entfernt liegen, wenn der Halbmesser vier Fuß lang ist. Hat aber dieser sechs Fuß Länge, so müßte man den entzündbaren Körper drei Fuß weit von b entfernen u. s. w.

Fig. 172.




Bedenkt man aber, daß bei einem sphärischen Hohlspiegel nicht alle Strahlen, welche mit der Achse parallel auf den Spiegel fallen, auch einerlei Einfallswinkel bilden, so sieht man bald ein, daß sie auch, bei der Zurückwerfung, nicht genau in einem Brennpunkt f sich vereinigen können. Wenn nämlich die Strahlen mn und op (Fig. 172),



Digitized by Google

welche sehr nahe an der Achse einfallen, in ihrer Zurückwerfung genau in dem Punkt f, in der Mitte des Halbmessers, zusammenkommen, so kann dieses für die Zurückwerfung der Strahlen gh und qr, welche viel weiter von der Achse einfallen, nicht mehr stattfinden, weil diese einen größern Einfallswinkel x bilden, mithin auch einen größern Zurückwerfungswinkel v. Je größer aber dieser ist, desto näher nach dem Spiegel zu muß der zurückgeworfene Strahl fallen. Je weiter demnach ein Strahl, welcher mit der Achse parallel auf den Spiegel fällt, von dieser entfernt ist, desto näher nach dem optischen Mittelpunkt hin fällt dessen Zurückwerfung. So werden z. B. die zurückgeworfenen Strahlen von gh und qr nicht in f, sondern schon in s sich vereinigen. Ein sphärischer Hohlspiegel kann daher unmöglich einen eigentlichen Brennpunkt, sondern nur einen Brennraum haben, der längs der Achse eine gewisse Länge hat. Daß dieses aber die Brennkraft des Spiegels schwächen und unwirksamer machen muß, und zwar um so mehr, je größer der Brennraum ist, je weniger Strahlen sich also in einem einzigen Punkt vereinigen, ist leicht zu begreifen. Indessen wird ein sphärischer Hohlspiegel desto wirksamer als Brennspiegel seyn, je größer sein Halbmesser in Vergleichung gegen seine Breite ist, weil dann die Reflexion der Strahlen, die mit der Achse parallel auf den Spiegel kommen, nur einen sehr kleinen Brennraum haben kann. Von zwei gleichartigen Hohlspiegeln, welche einerlei Breite haben, ist aber der am wenigsten gekrümmt, und faßt daher weniger Grade, dessen Halbmesser am größten ist, woraus dann gefolgert werden kann, daß der weniger gekrümmte ein besserer Brennspiegel seyn muß, als der, welcher bei derselben Breite sich stärker krümmt. Daher Brennspiegel, obgleich sie eine beträchtliche Breite bekommen, doch so wenig gekrümmt werden, oder, was dasselbe ist, nur einen so kleinen Abschnitt der ganzen Kugel bilden, zu der sie gehören, daß der Bogen ac (Fig. 170) nur etwa 10 bis 18 Grad beträgt. Nach einer vom Hofrath Käſtner angestellten Berechnung wird das Licht bei einem sphärischen Hohlspiegel, dessen Krümmung 8 Grad beträgt, rings um den kleinen Brennraum herum 170590mal verdichtet, wenn bei der Zurückwerfung keine Strahlen verloren gehen.

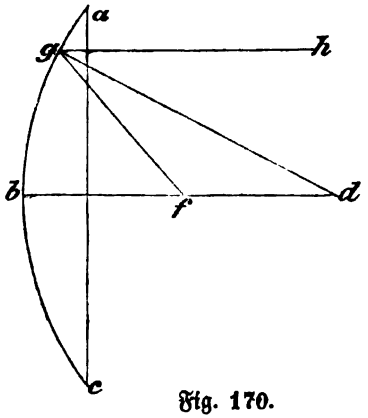


Fig. 170.

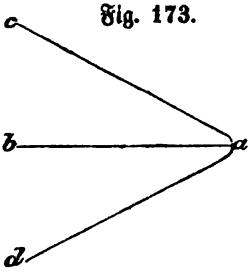
Weil ein jeder sphärischer Hohlspiegel seine eigene Brennweite hat, so muß man vor Allem diese kennen, wenn man einen richtigen Gebrauch von dem Spiegel machen will. Um sie durch einen Versuch zu bestimmen, kann man sich des folgenden Verfahrens bedienen: Man richtet den Spiegel gegen die Sonne oder auch den Mond, und fängt die reflectirten Strahlen mit einer kleinen Fläche auf. Diese schiebt man dann so lange hin und her, bis der sich darauf bildende lichte Kreis am deutlichsten erscheint. So weit es von da an bis an den Spiegel ist, so viel beträgt die Brennweite, deren Verdoppelung den Halbmesser des Spiegels und somit auch der Kugel gibt, zu welcher der Spiegel gehört. Man kann

Digitized by Google

auch die Brennweite eines Hohlspiegels auf folgende Weise finden: Man schneidet aus Papier eine Scheibe, welche so groß als die Spiegelfläche ist, und zieht darauf einen Durchmesser. Auf diesem Durchmesser macht man in gleichem Abstand vom Mittelpunkt zwei kleine kreisrunde Oeffnungen, befestigt dann die Scheibe am Spiegel und richtet diesen gegen die Sonne. Die Strahlen, welche durch die kleinen Oeffnungen der Scheibe auf den Spiegel fallen, werden zurückgeworfen. Fängt man sie, wie bei dem ersten Versuche, auf, und bemerkt die Stelle, wo sie sich vereinigen, so hat man den Brennpunkt, dessen Entfernung vom Spiegel die Brennweite angibt.

Die Unvollkommenheit der sphärischen Hohlspiegel, die man die Abweichung der Strahlen wegen der Kugelgestalt zu nennen pflegt, wird den denkenden Leser bald auf die Bemerkung führen, daß man diese Abweichung, in so fern sie in der That Unvollkommenheit besitzt, und man nur einen bloßen Brennpunkt zu haben verlangt, vielleicht durch eine andere Art von Krümmung, deren es ja so unendlich viele gibt, beseitigen könnte. Dieses ist auch wirklich der Fall, indem es mathematisch erwiesen werden kann, daß es bei einem Spiegel, dessen Krümmung parabolisch ist (Fig. 173), innerhalb der Achse ab einen Punkt gibt, in welchem alle mit der Achse parallel auffallende Strahlen sich genau vereinigen müssen. Ein paraboliſcher Hohlspiegel hat demnach keinen Brennraum, sondern nur einen Brennpunkt, und ist eben darum viel vollkommener und wirksamer als ein sphärischer Hohlspiegel. Indessen hat die genaue Ausarbeitung eines guten paraboliſchen Spiegels Schwierigkeiten, die fast unüberwindlich sind, daher ein solcher Spiegel auch zu den Seltenheiten gehört. In den allermeisten Fällen reicht man auch überall, wo man Hohlspiegel gebraucht, recht gut mit den sphärischen aus, die von allen gekrümmten Spiegeln am leichtesten zu bearbeiten sind. Daß übrigens die Verfertigung eines paraboliſchen Hohlspiegels nicht zu den Unmöglichkeiten gehöre, hat der berühmte Astronom Herschel gezeigt; ihm gelang es, sehr große Hohlspiegel von vollkommen paraboliſcher Form zu Stande zu bringen. Auch der berühmte Astronom Schröter in Lilienthal und Schrader in Kiel fanden Mittel, Spiegel von beträchtlicher Größe, die genau paraboliſch waren, zu verfertigen.

Fig. 173.




Wie lange es schon her ist, daß man überhaupt den Hohlspiegel und dessen Eigenschaften als Brennspiegel insbesondere kennt, läßt sich mit Bestimmtheit gar nicht angeben; wahrscheinlich waren sie schon den Griechen und Römern bekannt. Nach einer Erzählung, welche von zwei Schriftstellern aus dem zweiten Jahrhundert herstammt, soll sogar der berühmte Mathematiker Archimedes, schon mehr als 200 Jahre vor Chr. Geburt, durch Brennspiegel die römische Flotte, welche bei der Belagerung von Syrakus gebraucht wurde, in Brand gesteckt haben. Wie wahr es übrigens auch ist, daß Archimedes mit bewunderungswürdigem Talent seine Vaterstadt gegen die Angriffe der Römer zu vertheidigen verstand, so entschieden scheint es zu seyn, daß der Gebrauch der Brennspiegel ein mährchenhafter Zusatz ist, da die älteren Schriften, aus welchen die Erzählung dieses außerordentlichen Vorfalls hergenommen



Digitized by Google

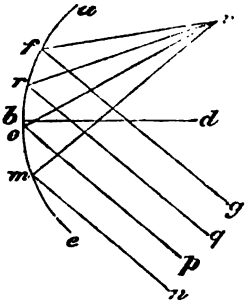
seyn soll, theils verloren gegangen sind, theils von einer solchen Begebenheit gar keine Erwähnung thun. Es läßt sich auch gar nicht denken, daß Archimedes zu solchen Vertheidigungsmitteln seine Zuflucht genommen habe, die bei den vielen Vorbereitungen, welche dazu erforderlich waren, schon durch eine Wolke vereitelt werden konnten, und daß die Römer so unklug gewesen seyen, einen Brand abzuwarten, dem sie durch eine kleine Entfernung von der gefährlichen Stelle so leicht entgehen konnten.

Außer metallnen Brennspiegeln, welche die vorzüglichsten, aber auch die kostbarsten sind, macht man auch solche Spiegel aus Glas und selbst aus noch andern Stoffen, z. B. aus Holz, Pappe, Stroh u. s. w. Um die Mitte des 17ten Jahrhunderts hat man in Italien und Frankreich ziemlich große Brennspiegel verfertigt, die von bedeutender Wirkung waren. Noch größere und wirksamere Brennspiegel wurden etwas später von einem deutschen Gelehrten, von Tschirnhausen, verfertigt Mit einem solchen Spiegel, der aus einer kupfernen Platte geschlagen, sehr gut polirt, aber so leicht und dünn war, daß er nur zwei Messerrücken Dicke hatte, konnte Tschirnhausen, auf eine Brennweite von zwei Leipziger Ellen, Holz augenblicklich entzünden, Wasser schnell zum Sieden bringen und in Dunst auflösen, Stücke Zinn und Blei, von drei Zoll Dicke, in einem Augenblick schmelzen, Eisen und Silber schnell durchlöchern, und Steine in kurzer Zeit verglasen. Aehnliche Wirkungen brachte ein Künstler zu Dresden, Namens Gärtner, mit Brennspiegeln hervor, die aus Holz gearbeitet waren. Um hölzernen und pappenen Spiegeln den erforderlichen Glanz zu verschaffen, überzieht man die spiegelnde Fläche mit Kreide und vergoldet sie stark. Einem Ingenieur, Naumann, soll es gelungen seyn, Brennspiegel aus Pappe zu verfertigen, und durch eine Belegung mit Stroh so zu glätten, daß er Metalle damit schmelzen konnte. Sogar durch die Zusammensetzung mehrerer ebenen Spiegel zu einem Hohlspiegel hat man Brennspiegel zu verfertigen gesucht. Am merkwürdigsten sind in dieser Hinsicht die Versuche, welche Büffon angestellt hat. Diesem gelang es im Jahre 1747, aus 168 ebenen Spiegeln, von 6 Zoll Höhe und 8 Zoll Breite, eine Maschine zu Stande zu bringen, in welcher er jeden Spiegel für sich allein, und so viele zusammen, als ihm beliebte, bewegen konnte. Mit 40 dieser Spiegeln zündete er in einer Entfernung von 66 Fuß ein getheertes Brett an, und mit 128 Spiegeln gelang ihm der Versuch in einer Entfernung von 150 Fuß. Mit 45 Spiegeln ward eine zinnerne Flasche in einer Entfernung von 20 Fuß geschmolzen, und mit 117 Spiegeln wurde eine eisenblecherne Platte glühend, und kleine Münzstücke geschmolzen. Späterhin gelang es, ihm sogar, mit seiner Maschine Holz in einer Entfernung von 200 Fuß anzuzünden, Zinn auf 150 Fuß weit, Blei auf 130 und Silber auf 60 Fuß zu schmelzen.

Um sich die Art und Weise, wie ein Hohlspiegel einen Gegenstand abbildet und im Bilde zeigen kann, zu erklären, muß man aber, außer der Zurückwerfung der Strahlen, welche mit der Achse parallel auf den Spiegel fallen, auch Kenntniß von der Zurückwerfung anderer Strahlen haben, deren Richtung gegen die Achse von einer andern Beschaffenheit ist. Offenbar müssen aber alle Strahlen, welche auf einen Hohlspiegel abc (Fig. 174) so auffallen, daß sie zwar nicht mit dessen Achse bd, jedoch unter sich parallel auf den Spiegel kommen, wie mn, op, rq und sg, so

Digitized by Google

Fig. 174.




zurückgeworfen werden, daß sie sich nahe um einen gewissen Punkt v vereinigen. Dieser Punkt, der nunmehr, wie sich von selbst versteht, nicht in der Achse liegen kann, liegt dieser seitwärts, der Seite entgegen, von wo her die Strahlen auf den Spiegel gelangen. Strahlen, die unterhalb der Achse auf den Spiegel fallen, und mit dieser nicht parallel sind, haben daher ihren Vereinigungspunkt v oberhalb derselben, und umgekehrt vereinigen sich dergleichen Strahlen, die oberhalb der Achse herkommen, unter derselben. Klar ist auch, daß alle Strahlen, welche aus dem Brennpunkt f (Fig. 171. S. 417) eines sphärischen Hohlspiegels auf den Spiegel gelangen, wie fq, fo, fm und fg, so zurückgeworfen werden müssen, daß ihre Zurückwerfung, qr, op, mn und gh, eine parallele Richtung mit der Achse bd bekommen muß. Hieraus kann man aber weiter folgern, daß alle Strahlen, welche von einem Punkt x (Fig. 175), der innerhalb der Achse bd aber dem Spiegel näher als der Brennpunkt f liegt, auf den Spiegel kommen, wie xa und xc, nach ihrer Zurückwerfung immer weiter auseinander fahren (divergiren) müssen, je weiter sie fortgehen, daß hingegen solche Strahlen, welche von einem Punkte y herkommen (Fig. 176), der innerhalb der Achse bd liegt, aber zwischen dem Brennpunkt f und dem geometrischen Mittelpunkt d, wie ya und yc, so zurückgeworfen werden müssen, daß ihre Zurückwerfung sich vereinigt (convergirt). Diese Vereinigung muß dann nothwendig in einem Punkt v stattfinden, der jenseit des Mittelpunkts d liegt. Aus diesem kann man dann wieder umgekehrt schließen, daß solche Strahlen, wie va und vc (Fig. 176), welche von einem Punkt v, der jenseit des Mittelpunkts liegt, auf den Spiegel kommen, so zurückgeworfen werden müssen, daß die zurückgeworfenen Strahlen ya und yc in einem Punkt y zusammentreffen, der zwischen dem Mittelpunkt d und dem Brennpunkt f liegt.

Fig. 175.

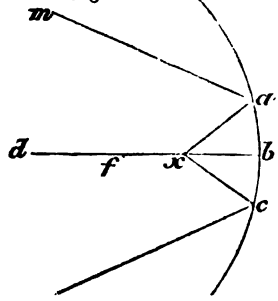
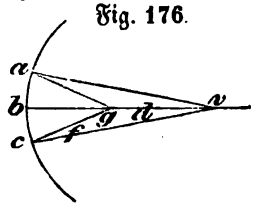



Fig. 176.



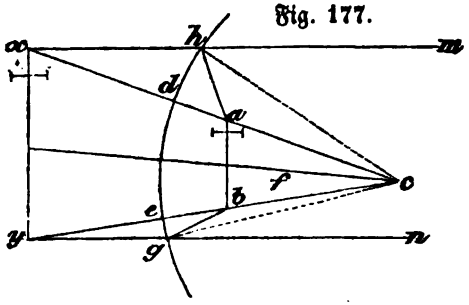

Hat man sich mit diesen Zurückwerfungsgesetzen hinlänglich bekannt gemacht, so kann man daraus ableiten, wie ein sphärischer Hohlspiegel Bilder von Gegenständen zeigt, und schon im voraus abnehmen, daß die Erscheinungen, die dabei stattfinden, viel mannigfaltiger als bei einem ebenen Spiegel seyn müssen.

Für diese Erscheinungen lassen sich, in Beziehung der angegebenen Reflexionsgesetze des Hohlspiegels, folgende Fälle anführen:

1) Der Gegenstand ab (Fig. 177) befindet sich zwischen dem Brennpunkt f

Digitized by Google

Fig. 177.



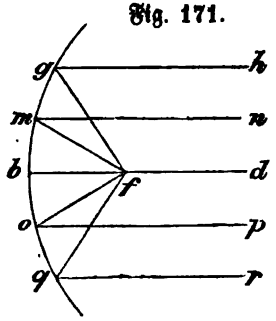

und dem Spiegel, ist demnach dem Spiegel näher, als dieser Punkt es ist. Um hier den Ort des Bildes im Spiegel zu bestimmen, verfahre man wie bei dem ebenen Spiegel, und ziehe durch den äußersten Endpunkt a des Gegenstandes einen senkrechten Strahl ad und einen schiefen ah. Jener wird in sich selbst zurückgeworfen, also von d nach c hin, dieser, dessen Einfallsloth hc ist, geht nach m zurück. Denkt man sich nun wieder beide Strahlen hinter den Spiegel hin so weit verlängert, bis sie sich irgend wo treffen, z. B. in x, so ist der Eindruck auf das Auge, zu welchem die reflectirten Strahlen gelangen, so, als ob diese Strahlen von dem Punkt x ausgingen, und das Bild von a scheint demnach in x zu liegen. Mit dem äußersten untern Endpunkt b des Gegenstandes geht es eben so. Da dieses nun mit allen andern Punkten des Gegenstandes ab derselbe Fall ist, so muß auch hier, wie bei dem ebenen Spiegel, das Bild des Gegenstandes hinter dem Spiegel zum Vorschein kommen. Dieses Bild, welches zwar in derselben Stellung erscheint, in welcher der Gegenstand ist, sieht aber vergrößert aus, und erscheint weiter hinter der Spiegelfläche, als der Gegenstand davor ist. Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, daß bei einem sphärischen Hohlspiegel die Strahlen ca und cb, zwischen welche das Bild von ab fallen muß, nach der Richtung ax und by auseinander fahren. Je weniger dieses der Fall ist, d. h. je näher der Gegenstand dem Spiegel rückt, desto kleiner muß auch das Bild werden, und da sich in diesem Falle die Strahlen dx und hx, so wie die Strahlen ey und gy früher vereinigen, so rückt zugleich auch das Bild der Spiegelfläche näher.

Indessen tritt auch hier wieder die Abweichung der Strahlen wegen der Kugelgestalt ein, und bewirkt Unvollkommenheiten in der Darstellung des Bildes. Da nämlich nur diejenigen Strahlen in einem Punkt sich vereinigen, welche in gleicher Entfernung von der Achse auf den Spiegel fallen, so gibt es bei einem sphärischen Hohlspiegel für jeden Punkt eines Gegenstandes eine sehr große Menge von Strahlen, die verschiedene Vereinigungspunkte haben, und eben darum eine große Menge von Bildern. Außer dem Hauptbild des Gegenstandes, welches durch die Strahlen gebildet wird, die nahe bei der Achse einfallen, stellt ein sphärischer Hohlspiegel immer auch mehr oder weniger Nebenbilder dar, und obgleich sie schwächer als das Hauptbild sind, dieses doch verzerren und undeutlich machen. Je weniger Grade der Hohlspiegel faßt, desto geringer wird natürlich diese Unvollkommenheit. Bei größern Hohlspiegeln muß man, um die Nebenbilder abzuhalten, dem Rande derselben eine schwarze Belegung, die man Blendungen nennt, geben. Paraboliſche Hohlspiegel sind dieser Unvollkommenheit nicht unterworfen.

2) Der Gegenstand befindet sich in dem Brennpunkt oder dem kleinen Brennraum f (Fig. 171). In diesem Fall läßt sich leicht einsehen, daß nirgends ein deutliches Bild desselben sich zeigen kann, indem der größte

Digitized by Google

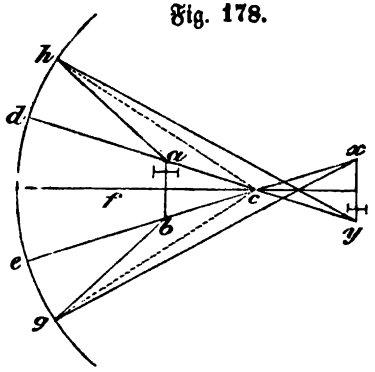
Fig. 171.




Theil der Strahlen, welche dann auf den Spiegel gelangen, in der Zurückwerfung parallel werden, folglich nirgends einen Vereinigungspunkt haben. Man sieht daher auch nur einen starken Lichtschein im Spiegel, aber kein Bild des Gegenstandes.

3) Befindet sich der Gegenstand ab (Fig. 178) zwischen dem Brennpunkt f und dem geometrischen Mittelpunkt c, so kann hier hinter dem Spiegel aus dem Grunde kein Bild entstehen, weil die Verlängerungen der reflectirten Strahlen nach dieser Richtung immer weiter auseinander gehen, und daher nirgends sich vereinigen. Zieht man aber wiederum durch den äußersten Endpunkt a des Gegenstandes einen senkrechten Strahl ad und einen schiefen ah, so wird jener in sich selbst nach dy, dieser, dessen Einfallsloth ch ist, nach hy zurückgeworfen. Da nun die verlängerten reflectirten Strahlen des Punktes a in y sich vereinigen, so muß hier das Bild dieses Punktes sich zeigen. Eben so ist es mit dem äußersten untern Endpunkt b beschaffen, wenn man den senkrechten Strahl be und den schiefen bg zieht, deren Reflexion in x sich vereinigt. Das Bild von ab liegt also jetzt vor der Spiegelfläche und hat, in Beziehung auf den Gegenstand, eine verkehrte Lage. Dieses verkehrte Bild, welches ein Luftbild genannt wird, weil es vor dem Spiegel in freier Luft erscheint, ist auch größer als der Gegenstand ab, indem hier cx und cy weiter auseinander stehen müssen, als ca und bc auseinander stehen. Je näher der Gegenstand dem Brennpunkt f liegt, desto mehr nähern sich die reflectirten Strahlen der parallelen Richtung, desto länger müssen sie auch werden, um sich zu vereinigen. Je näher demnach der Gegenstand dem Brennpunkt liegt, desto weiter liegen die Punkte x und y vom Spiegel weg, desto größer ist also auch die Entfernung des Luftbildes vom Spiegel, und auch das Bild selbst ist dann größer.

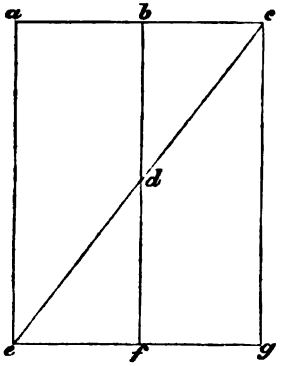
Fig. 178.




4) Dreht man den vorigen Fall um, und denkt sich xy (Fig. 178) als den Gegenstand, so wird jetzt ab das Bild desselben seyn. Hieraus geht hervor, daß ein Gegenstand, der jenseit des geometrischen Mittelpunkts c eines Hohlspiegels liegt, ein Luftbild gibt, dessen Ort zwischen dem Brennpunkt f und dem Mittelpunkt c ist, und daß dieses Bild verkehrt und kleiner als der Gegenstand seyn muß. Je weiter vom Mittelpunkt c der Gegenstand entfernt ist, desto näher liegt das Bild dem Brennpunkt f, und desto kleiner erscheint es. Daher man denn auch das Bild eines Gegenstandes, dessen Entfernung vom geometrischen Mittelpunkt des Hohlspiegels sehr groß ist, wie z. B. das Bild der Sonne, im Brennpunkt selbst sieht. Der Brennraum eines sphärischen Brennspiegels ist also

Digitized by Google

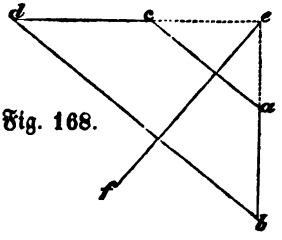
Fig. 167.




so stelle man sich vor, cg (Fig. 167) sey die Länge der Person von dem Auge bis zu den Füßen, bf ein Spiegel, und ae das Bild der Person. Da nun die Strahlen, welche von dem untersten Punkt des Bildes zum Auge gelangen, die Spiegelfläche in d durchschneiden, so ist auch eigentlich nur das Stück bd der Spiegelfläche wirksam, und der übrige Theil df trägt nichts mehr zur Wahrnehmung des ganzen Bildes der Person bei. Diese kann daher ihr Bild ganz sehen, wenn der Spiegel auch nur die Länge bd hat. Daß übrigens die Länge des Spiegels wenigstens halb so groß seyn muß, als die Länge der Person, wenn diese in gleichlaufender Stellung mit dem Spiegel ihr ganzes Bild darin sehen soll, ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, daß das Bild ae so weit hinter dem Spiegel ist, als die Person cg davor steht, daß mithin ab halb so groß als ae ist, und daß, weil bd parallel mit cg und ae ist, die Dreiecke bcd und aec ähnlich seyn müssen. Hieraus ergibt sich, daß ae sich eben so zu bd verhält, wie sich ac zu ab verhält, folglich muß bd auch halb so groß als ae oder cg seyn. Derselbe Beweis läßt sich auch von der Breite des Spiegels führen; auch diese muß wenigstens die Hälfte von der Breite der Person betragen, wenn diese sich ganz darin sehen will.

Aus dem, was bis jetzt über die Erscheinungen in einem ebenen Spiegel erklärt worden ist, folgt leicht von selbst, daß nur dann die Bilder der Gegenstände im Spiegel mit den Gegenständen selbst eine gleiche Lage haben, wenn der Spiegel eine vertikale Stellung hat. In einem so gestellten Spiegel erscheinen die liegenden Gegenstände liegend, die stehenden stehend. Ist aber die Lage des Spiegels gegen die Lage der Gegenstände geneigt, so müssen auch die Bilder der Gegenstände in einer andern Lage als die Gegenstände sich zeigen. Dieses ist eine nothwendige Folge des Gesetzes, daß jeder Theil von dem Bild eines Gegenstandes eben so weit hinter dem Spiegel erscheint, als eben dieser Theil bei'm Gegenstande vor dem Spiegel ist. Daher muß in einem Spiegel, der mit dem Horizont einen Winkel von 45 Grad macht, das Bild eines stehenden Gegenstandes liegend, und eines liegenden Gegenstandes stehend erscheinen. Ist z. B. ab (Fig. 168) ein stehender Gegenstand, ef ein Spiegel, der unter einem Winkel von 45 Graden gegen den Horizont geneigt ist, so sieht man das Bild von a in c, das von b in d. Da nun die Verlängerungen von ab und cd bei e unter einem rechten Winkel sich treffen müssen, so muß nothwendig de, also auch dc horizontal seyn, wenn be oder ab senkrecht ist In einem so geneigten Spiegel scheinen daher fallende Gegenstände zu steigen, steigende zu fallen, und eine Kugel, welche auf einer horizontalen Ebene rollt, sieht im Spiegel so aus, als ob sie eine schiefe Ebene hinauf rollte. Hat ein Spiegel eine horizontale Lage, so müssen sich alle

Fig. 168.




Digitized by Google

Gegenstände verkehrt darin zeigen, wie man dieses bei jedem stillstehenden Wasser, in welchem sich Bäume, Häuser u. s. w. spiegeln, wahrnimmt.

Bringt man zwei ebene Spiegel in gleichlaufender Richtung gegen einander über an, so muß ein Gegenstand, welcher zwischen ihnen sich befindet, sowohl in dem einen als dem andern Spiegel unzählig vielmal abgebildet werden, weil jedes Bild in dem einen Spiegel auch wieder ein Bild in dem andern Spiegel erzeugt. Hierdurch entsteht abwechselnd in dem einen und dem andern Spiegel eine Reihe in gleichen Entfernungen hinter einander liegender Bilder. Nur werden die Bilder, je entfernter sie hintereinander liegen, immer undeutlicher, weil bei jeder neuen Reflexion einige Lichttheile verloren gehen. Sind die Spiegel nicht parallel, sondern unter einem Winkel zusammengesetzt, so wird ein Gegenstand, der zwischen ihnen liegt, zwar ebenfalls mehrfach abgebildet erscheinen müssen, allein die Bilder, welche nun entstehen, sind doch immer von einer bestimmten Anzahl, weil man zuletzt immer auf ein Bild kommen wird, dessen Lage nicht mehr in die Ebene des Spiegels fällt, in welchem es sich abbilden soll. Je kleiner aber der Winkel ist, unter welchem beide Spiegel sich gegeneinander neigen, je näher sie demnach der parallelen Richtung kommen, desto größer wird auch die Bilderzahl eines Gegenstandes darin. Ist der Winkel, den die Spiegel bilden, genau in 360 Grad enthalten, so erscheint der Gegenstand so oftmal abgebildet, so vielmal der Winkel in 360 enthalten ist, wenn man den Gegenstand selbst mit dazu rechnet. Rechnet man aber den Gegenstand nicht mit, so hat man eine Abbildung weniger, als der Winkel in 360 enthalten ist.

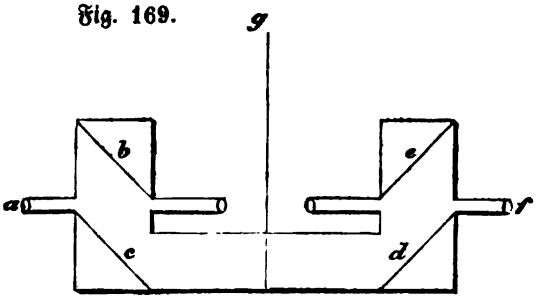
Bilden z. B. die Spiegel einen Winkel von 40 Grad, so hat man, da 40 in 360 neunmal enthalten ist, auch neun Abbildungen, wenn man den Gegenstand selbst mit dazu zählt, oder acht ohne denselben. Liegen zwischen zwei Winkelspiegeln mehrere Gegenstände, so bilden sie, in so fern nur der Winkel genau in 360 enthalten, also ein genauer Theil eines Kreises ist, allerlei regelmäßige Figuren. Hierauf gründet sich auch das von Brewster in Edinburgh erfundene Kaleidoskop oder Prachtfeherohr, wie Einige es genannt haben, und welches, als es bekannt wurde, ungemeines Aufsehen erregte, und schnell allgemeinen Eingang fand. Die Hauptbestandtheile des Kaleidoskops sind zwei spiegelnde Flächen, die in einer Röhre sitzen, und in welchen man Abbildungen von verschiedenen zwischen ihnen liegenden kleinen Gegenständen, die an Gestalt und Farbe verschieden sind, erblickt. Je nachdem die spiegelnden Flächen einander parallel sitzen, oder irgend einen Winkel bilden, sieht man diese oder jene regelmäßige Figur der dazwischen liegenden Gegenstände sich abbilden, und diese Figur ändert sich jedesmal ab, so wie das Kaleidoskop gedreht wird, und die Gegenstände dadurch ihre Lagen gegeneinander verändern. Am gefälligsten werden die Figuren, wenn die spiegelnden Flächen unter einem Winkel von 45, oder 36 oder 30 Grad sich gegeneinander neigen. Es ist nicht zu läugnen, daß das Kaleidoskop für Anstalten, welche gefälliger Muster bedürfen, z. B. in Kattundruckereien u. s. w. nicht ohne Nutzen ist, da es eine so große Menge regelmäßiger und gefälliger Figuren liefert, die man abzeichnen und benutzen kann, dessen ungeachtet ist es dennoch wenig mehr als eine bloße Spielerei.

Die sogenannten Zauberperspective, vermittelst welchen man anscheinend durch ein Brett oder über eine Mauer weg sehen kann, so wie das Polemoskop oder der Operngucker, welches wie ein gewöhnliches

Digitized by Google

Taschenperspectiv ausstieht, mit welchem man aber nicht die Gegenstände sehen kann, nach denen es gerichtet zu seyn scheint, sondern solche, die ihnen seitwärts liegen, beruhen ebenfalls auf Spiegeln, welche innerhalb einer Röhre unter einem Winkel von 45 Grad angebracht sind. Es sey, um sich von der Einrichtung eines solchen Zauberperspectivs eine Vorstellung machen zu können, vor der Röhre a (Fig. 169) ein sichtbarer

Fig. 169.




Gegenstand. Die Lichtstrahlen, die von diesem Gegenstand ausfahren, gehen durch diese Röhre und fallen auf den Spiegel b, dieser reflectirt sie nach dem Spiegel c, dieser wieder nach dem Spiegel d und dieser reflectirt sie nach dem Spiegel e. Befindet sich nun das Auge bei f, so sieht es die von dem Spiegel e reflectirten Lichtstrahlen und folglich ein Bild des Gegenstandes, welcher vor a sich befindet. Stellt man zwischen die innern Röhren von g herab ein Brett, welches nun zwischen dem Auge und dem Gegenstand steht, so sieht es so aus, als ob man den Gegenstand durch das Brett hindurch sehen könne. Gleiche Bewandtniß hat es mit andern Arten solcher Zauberperspective, deren Gebrauchswerth jedoch nicht erheblich ist.

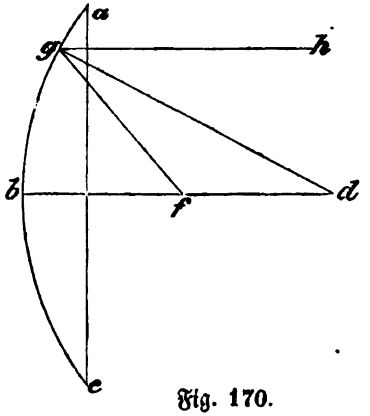


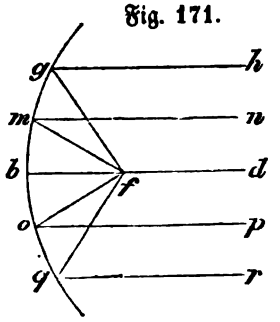

Fig. 170.

§ 199. (Hohlspiegel) Wenn agbc (Fig. 170) einen Hohlspiegel vorstellt, der aus einem Kugelabschnitt besteht, und d der Mittelpunkt dieser Kugel ist, so nennt man eben diesen Punkt d auch den geometrischen Mittelpunkt des Spiegels, der Punkt b aber, der in der Mitte des Spiegels liegt, wird dessen optischer Mittelpunkt genannt. Der Halbmesser bd oder dg, überhaupt jeder Halbmesser der Kugel, zu welcher der Hohlspiegel gehört, wird auch der Halbmesser des Hohlspiegels genannt, die Sehne ac aber heißt dessen Breite, zuweilen auch dessen Durchmesser, so wie ab oder bc dessen halbe Breite oder Oeffnung genannt wird. Da jeder Halbmesser einer Kugel senkrecht auf der Kugelfläche steht, so ist an jeder Stelle des Spiegels der dahin treffende Halbmesser auch das Einfallsloth für diese Stelle (§ 197). So ist z. B. der Halbmesser gd das Einfallsloth für den Strahl hg. Wird nun dieser Strahl nach gf zurückgeworfen, so muß auch der

Digitized by Google

Winkel hgd, welches der Einfallswinkel ist, dem Zurückwerfungswinkel dgk gleich seyn. Alle Strahlen aber, welche in der Richtung eines Halbmessers auf den Spiegel treffen, sind senkrecht auffallende Strahlen, und werden daher in sich selbst zurückgeworfen. Da man eine gerade Linie von unbestimmter Länge, welche in der Richtung db, d. h. durch den geometrischen Mittelpunkt, nach dem optischen Mittelpunkt des Spiegels geht, die Achse, auch die Hauptachse des Spiegels nennt, so folgt, daß ein Lichtstrahl, welcher in der Richtung dieser Achse auf den Spiegel fällt, ebenfalls in sich selbst zurückgeworfen werden muß. Dagegen läßt es sich mathematisch erweisen, daß alle andere Strahlen, welche in paralleler Richtung mit der Achse auf den Spiegel fallen, wie z. B. (Fig. 171) gh, mn, op, qr, in der That so zurückgeworfen werden, daß sie alle in einem sehr kleinen Raum f, der innerhalb der Spiegelachse und in der Mitte des Halbmessers bd liegt, zusammen treffen müssen.

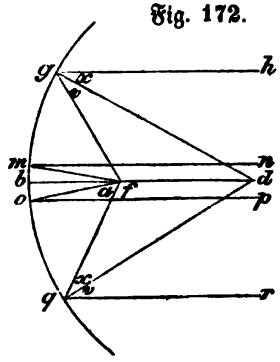
Fig. 171.




Durch die Vereinigung aller mit der Achse in paralleler Richtung auffallenden Strahlen in dem kleinen Raum f entsteht, wenn man die Achse gegen die Sonne richtet, in diesem Raume, der hier fast nur als ein bloßer Punkt zu betrachten ist, nicht nur ein sehr helles und blendendes Licht, sondern auch eine so große Hitze, daß brennbare Körper, z. B. ein Stückchen Zunder, Papier, Holz und dergl., die in diesem Raum liegen, sich augenblicklich entzünden. Darum nennt man auch einen Hohlspiegel, mit welchem man solche Entzündungen bewirken kann, einen Brennspiegel, und der kleine Raum f, wo die Strahlen, welche mit der Achse parallel gehen, sich vereinigen; und wo daher die Entzündung statt hat, wird der Brennpunkt (Focus) genannt. Die Entfernung des Brennpunkts von dem optischen Mittelpunkt des Spiegels heißt dann die Brennweite.

Da der Brennpunkt f in der Mitte des Spiegelhalbmessers liegt, so muß die Brennweite immer desto weiter von dem optischen Mittelpunkt des Spiegels wegrücken, je größer dessen Halbmesser ist. Bei einem Brennspiegel, dessen Achse gegen die Sonne gerichtet ist, muß demnach der Körper, der entzündet werden soll, zwei Fuß weit von dem optischen Mittelpunkt b entfernt liegen, wenn der Halbmesser vier Fuß lang ist. Hat aber dieser sechs Fuß Länge, so müßte man den entzündbaren Körper drei Fuß weit von b entfernen u. s. w.

Fig. 172.




Bedenkt man aber, daß bei einem sphärischen Hohlspiegel nicht alle Strahlen, welche mit der Achse parallel auf den Spiegel fallen, auch einerlei Einfallswinkel bilden, so sieht man bald ein, daß sie auch, bei der Zurückwerfung, nicht genau in einem Brennpunkt f sich vereinigen können. Wenn nämlich die Strahlen mn und op (Fig. 172),



Digitized by Google

welche sehr nahe an der Achse einfallen, in ihrer Zurückwerfung genau in dem Punkt f, in der Mitte des Halbmessers, zusammenkommen, so kann dieses für die Zurückwerfung der Strahlen gh und qr, welche viel weiter von der Achse einfallen, nicht mehr stattfinden, weil diese einen größern Einfallswinkel x bilden, mithin auch einen größern Zurückwerfungswinkel v. Je größer aber dieser ist, desto näher nach dem Spiegel zu muß der zurückgeworfene Strahl fallen. Je weiter demnach ein Strahl, welcher mit der Achse parallel auf den Spiegel fällt, von dieser entfernt ist, desto näher nach dem optischen Mittelpunkt hin fällt dessen Zurückwerfung. So werden z. B. die zurückgeworfenen Strahlen von gh und qr nicht in f, sondern schon in s sich vereinigen. Ein sphärischer Hohlspiegel kann daher unmöglich einen eigentlichen Brennpunkt, sondern nur einen Brennraum haben, der längs der Achse eine gewisse Länge hat. Daß dieses aber die Brennkraft des Spiegels schwächen und unwirksamer machen muß, und zwar um so mehr, je größer der Brennraum ist, je weniger Strahlen sich also in einem einzigen Punkt vereinigen, ist leicht zu begreifen. Indessen wird ein sphärischer Hohlspiegel desto wirksamer als Brennspiegel seyn, je größer sein Halbmesser in Vergleichung gegen seine Breite ist, weil dann die Reflexion der Strahlen, die mit der Achse parallel auf den Spiegel kommen, nur einen sehr kleinen Brennraum haben kann. Von zwei gleichartigen Hohlspiegeln, welche einerlei Breite haben, ist aber der am wenigsten gekrümmt, und faßt daher weniger Grade, dessen Halbmesser am größten ist, woraus dann gefolgert werden kann, daß der weniger gekrümmte ein besserer Brennspiegel seyn muß, als der, welcher bei derselben Breite sich stärker krümmt. Daher Brennspiegel, obgleich sie eine beträchtliche Breite bekommen, doch so wenig gekrümmt werden, oder, was dasselbe ist, nur einen so kleinen Abschnitt der ganzen Kugel bilden, zu der sie gehören, daß der Bogen ac (Fig. 170) nur etwa 10 bis 18 Grad beträgt. Nach einer vom Hofrath Käſtner angestellten Berechnung wird das Licht bei einem sphärischen Hohlspiegel, dessen Krümmung 8 Grad beträgt, rings um den kleinen Brennraum herum 170590mal verdichtet, wenn bei der Zurückwerfung keine Strahlen verloren gehen.

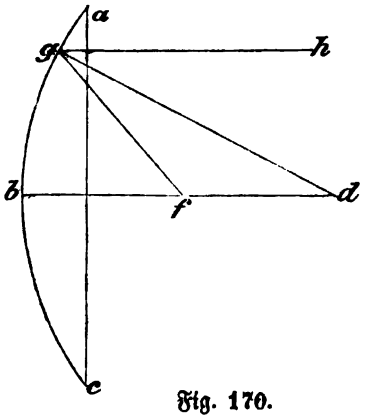


Fig. 170.

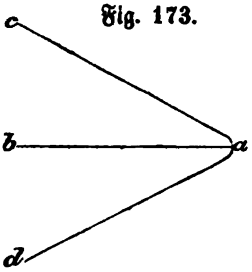
Weil ein jeder sphärischer Hohlspiegel seine eigene Brennweite hat, so muß man vor Allem diese kennen, wenn man einen richtigen Gebrauch von dem Spiegel machen will. Um sie durch einen Versuch zu bestimmen, kann man sich des folgenden Verfahrens bedienen: Man richtet den Spiegel gegen die Sonne oder auch den Mond, und fängt die reflectirten Strahlen mit einer kleinen Fläche auf. Diese schiebt man dann so lange hin und her, bis der sich darauf bildende lichte Kreis am deutlichsten erscheint. So weit es von da an bis an den Spiegel ist, so viel beträgt die Brennweite, deren Verdoppelung den Halbmesser des Spiegels und somit auch der Kugel gibt, zu welcher der Spiegel gehört. Man kann

Digitized by Google

auch die Brennweite eines Hohlspiegels auf folgende Weise finden: Man schneidet aus Papier eine Scheibe, welche so groß als die Spiegelfläche ist, und zieht darauf einen Durchmesser. Auf diesem Durchmesser macht man in gleichem Abstand vom Mittelpunkt zwei kleine kreisrunde Oeffnungen, befestigt dann die Scheibe am Spiegel und richtet diesen gegen die Sonne. Die Strahlen, welche durch die kleinen Oeffnungen der Scheibe auf den Spiegel fallen, werden zurückgeworfen. Fängt man sie, wie bei dem ersten Versuche, auf, und bemerkt die Stelle, wo sie sich vereinigen, so hat man den Brennpunkt, dessen Entfernung vom Spiegel die Brennweite angibt.

Die Unvollkommenheit der sphärischen Hohlspiegel, die man die Abweichung der Strahlen wegen der Kugelgestalt zu nennen pflegt, wird den denkenden Leser bald auf die Bemerkung führen, daß man diese Abweichung, in so fern sie in der That Unvollkommenheit besitzt, und man nur einen bloßen Brennpunkt zu haben verlangt, vielleicht durch eine andere Art von Krümmung, deren es ja so unendlich viele gibt, beseitigen könnte. Dieses ist auch wirklich der Fall, indem es mathematisch erwiesen werden kann, daß es bei einem Spiegel, dessen Krümmung parabolisch ist (Fig. 173), innerhalb der Achse ab einen Punkt gibt, in welchem alle mit der Achse parallel auffallende Strahlen sich genau vereinigen müssen. Ein paraboloischer Hohlspiegel hat demnach keinen Brennraum, sondern nur einen Brennpunkt, und ist eben darum viel vollkommener und wirksamer als ein sphärischer Hohlspiegel. Indessen hat die genaue Ausarbeitung eines guten paraboloischen Spiegels Schwierigkeiten, die fast unüberwindlich sind, daher ein solcher Spiegel auch zu den Seltenheiten gehört. In den allermeisten Fällen reicht man auch überall, wo man Hohlspiegel gebraucht, recht gut mit den sphärischen aus, die von allen gekrümmten Spiegeln am leichtesten zu bearbeiten sind. Daß übrigens die Verfertigung eines paraboloischen Hohlspiegels nicht zu den Unmöglichkeiten gehöre, hat der berühmte Astronom Herschel gezeigt; ihm gelang es, sehr große Hohlspiegel von vollkommen paraboloischer Form zu Stande zu bringen. Auch der berühmte Astronom Schröter in Lilienthal und Schrader in Kiel fanden Mittel, Spiegel von beträchtlicher Größe, die genau paraboloisch waren, zu verfertigen.

Fig. 173.




Wie lange es schon her ist, daß man überhaupt den Hohlspiegel und dessen Eigenschaften als Brennspiegel insbesondere kennt, läßt sich mit Bestimmtheit gar nicht angeben; wahrscheinlich waren sie schon den Griechen und Römern bekannt. Nach einer Erzählung, welche von zwei Schriftstellern aus dem zweiten Jahrhundert herstammt, soll sogar der berühmte Mathematiker Archimedes, schon mehr als 200 Jahre vor Chr. Geburt, durch Brennspiegel die römische Flotte, welche bei der Belagerung von Syrakus gebraucht wurde, in Brand gesteckt haben. Wie wahr es übrigens auch ist, daß Archimedes mit bewunderungswürdigem Talent seine Vaterstadt gegen die Angriffe der Römer zu vertheidigen verstand, so entschieden scheint es zu seyn, daß der Gebrauch der Brennspiegel ein mährchenhafter Zusatz ist, da die älteren Schriften, aus welchen die Erzählung dieses außerordentlichen Vorfalls hergenommen



Digitized by Google

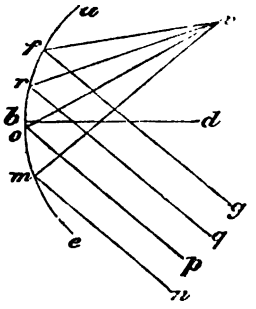
seyn soll, theils verloren gegangen sind, theils von einer solchen Begebenheit gar keine Erwähnung thun. Es läßt sich auch gar nicht denken, daß Archimedes zu solchen Vertheidigungsmitteln seine Zuflucht genommen habe, die bei den vielen Vorbereitungen, welche dazu erforderlich waren, schon durch eine Wolke vereitelt werden konnten, und daß die Römer so unklug gewesen seyen, einen Brand abzuwarten, dem sie durch eine kleine Entfernung von der gefährlichen Stelle so leicht entgehen konnten.

Außer metallnen Brennspiegeln, welche die vorzüglichsten, aber auch die kostbarsten sind, macht man auch solche Spiegel aus Glas und selbst aus noch andern Stoffen, z. B. aus Holz, Pappe, Stroh u. s. w. Um die Mitte des 17ten Jahrhunderts hat man in Italien und Frankreich ziemlich große Brennspiegel verfertigt, die von bedeutender Wirkung waren. Noch größere und wirksamere Brennspiegel wurden etwas später von einem deutschen Gelehrten, von Tschirnhausen, verfertigt Mit einem solchen Spiegel, der aus einer kupfernen Platte geschlagen, sehr gut polirt, aber so leicht und dünn war, daß er nur zwei Messerrücken Dicke hatte, konnte Tschirnhausen, auf eine Brennweite von zwei Leipziger Ellen, Holz augenblicklich entzünden, Wasser schnell zum Sieden bringen und in Dunst auflösen, Stücke Zinn und Blei, von drei Zoll Dicke, in einem Augenblick schmelzen, Eisen und Silber schnell durchlöchern, und Steine in kurzer Zeit verglasen. Aehnliche Wirkungen brachte ein Künstler zu Dresden, Namens Gärtner, mit Brennspiegeln hervor, die aus Holz gearbeitet waren. Um hölzernen und pappenen Spiegeln den erforderlichen Glanz zu verschaffen, überzieht man die spiegelnde Fläche mit Kreide und vergoldet sie stark. Einem Ingenieur, Naumann, soll es gelungen seyn, Brennspiegel aus Pappe zu verfertigen, und durch eine Belegung mit Stroh so zu glätten, daß er Metalle damit schmelzen konnte. Sogar durch die Zusammensetzung mehrerer ebenen Spiegel zu einem Hohlspiegel hat man Brennspiegel zu verfertigen gesucht. Am merkwürdigsten sind in dieser Hinsicht die Versuche, welche Büffon angestellt hat. Diesem gelang es im Jahre 1747, aus 168 ebenen Spiegeln, von 6 Zoll Höhe und 8 Zoll Breite, eine Maschine zu Stande zu bringen, in welcher er jeden Spiegel für sich allein, und so viele zusammen, als ihm beliebte, bewegen konnte. Mit 40 dieser Spiegeln zündete er in einer Entfernung von 66 Fuß ein getheertes Brett an, und mit 128 Spiegeln gelang ihm der Versuch in einer Entfernung von 150 Fuß. Mit 45 Spiegeln ward eine zinnerne Flasche in einer Entfernung von 20 Fuß geschmolzen, und mit 117 Spiegeln wurde eine eisenblecherne Platte glühend, und kleine Münzstücke geschmolzen. Späterhin gelang es ihm sogar, mit seiner Maschine Holz in einer Entfernung von 200 Fuß anzuzünden, Zinn auf 150 Fuß weit, Blei auf 130 und Silber auf 60 Fuß zu schmelzen.

Um sich die Art und Weise, wie ein Hohlspiegel einen Gegenstand abbildet und im Bilde zeigen kann, zu erklären, muß man aber, außer der Zurückwerfung der Strahlen, welche mit der Achse parallel auf den Spiegel fallen, auch Kenntniß von der Zurückwerfung anderer Strahlen haben, deren Richtung gegen die Achse von einer andern Beschaffenheit ist. Offenbar müssen aber alle Strahlen, welche auf einen Hohlspiegel abc (Fig. 174) so auffallen, daß sie zwar nicht mit dessen Achse bd, jedoch unter sich parallel auf den Spiegel kommen, wie mn, op, rq und sg, so

Digitized by Google

Fig. 174.




zurückgeworfen werden, daß sie sich nahe um einen gewissen Punkt v vereinigen. Dieser Punkt, der nunmehr, wie sich von selbst versteht, nicht in der Achse liegen kann, liegt dieser seitwärts, der Seite entgegen, von wo her die Strahlen auf den Spiegel gelangen. Strahlen, die unterhalb der Achse auf den Spiegel fallen, und mit dieser nicht parallel sind, haben daher ihren Vereinigungspunkt v oberhalb derselben, und umgekehrt vereinigen sich dergleichen Strahlen, die oberhalb der Achse herkommen, unter derselben. Klar ist auch, daß alle Strahlen, welche aus dem Brennpunkt f (Fig. 171. S. 417) eines sphärischen Hohlspiegels auf den Spiegel gelangen, wie fq, fo, fm und fg, so zurückgeworfen werden müssen, daß ihre Zurückwerfung, qr, op, mn und gh, eine parallele Richtung mit der Achse bd bekommen muß. Hieraus kann man aber weiter folgern, daß alle Strahlen, welche von einem Punkt x (Fig. 175), der innerhalb der Achse bd aber dem Spiegel näher als der Brennpunkt f liegt, auf den Spiegel kommen, wie xa und xc, nach ihrer Zurückwerfung immer weiter auseinander fahren (divergiren) müssen, je weiter sie fortgehen, daß hingegen solche Strahlen, welche von einem Punkte y herkommen (Fig. 176), der innerhalb der Achse bd liegt, aber zwischen dem Brennpunkt f und dem geometrischen Mittelpunkt d, wie ya und yc, so zurückgeworfen werden müssen, daß ihre Zurückwerfung sich vereinigt (convergirt). Diese Vereinigung muß dann nothwendig in einem Punkt v stattfinden, der jenseit des Mittelpunkts d liegt. Aus diesem kann man dann wieder umgekehrt schließen, daß solche Strahlen, wie va und vc (Fig. 176), welche von einem Punkt v, der jenseit des Mittelpunkts liegt, auf den Spiegel kommen, so zurückgeworfen werden müssen, daß die zurückgeworfenen Strahlen ya und yc in einem Punkt y zusammentreffen, der zwischen dem Mittelpunkt d und dem Brennpunkt f liegt.

Fig. 175.

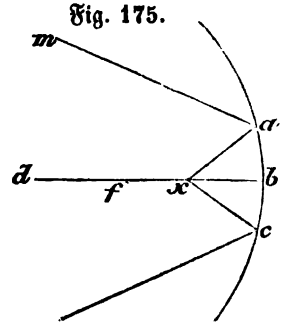
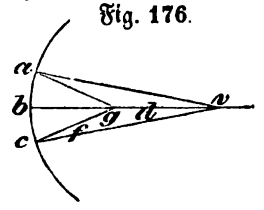



Fig. 176.



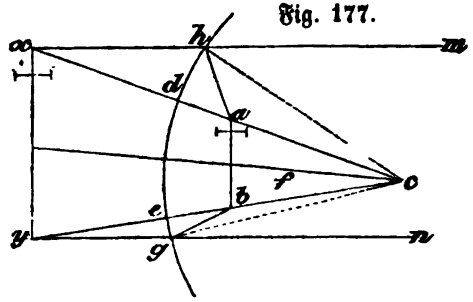

Hat man sich mit diesen Zurückwerfungsgesetzen hinlänglich bekannt gemacht, so kann man daraus ableiten, wie ein sphärischer Hohlspiegel Bilder von Gegenständen zeigt, und schon im voraus abnehmen, daß die Erscheinungen, die dabei stattfinden, viel mannigfaltiger als bei einem ebenen Spiegel seyn müssen.

Für diese Erscheinungen lassen sich, in Beziehung der angegebenen Reflexionsgesetze des Hohlspiegels, folgende Fälle anführen:

1) Der Gegenstand ab (Fig. 177) befindet sich zwischen dem Brennpunkt f

Digitized by Google

Fig. 177.



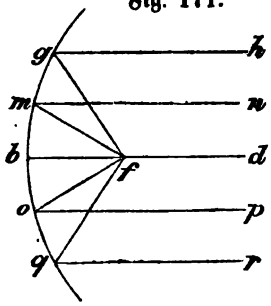

und dem Spiegel, ist demnach dem Spiegel näher, als dieser Punkt es ist. Um hier den Ort des Bildes im Spiegel zu bestimmen, verfahre man wie bei dem ebenen Spiegel, und ziehe durch den äußersten Endpunkt a des Gegenstandes einen senkrechten Strahl ad und einen schiefen ah. Jener wird in sich selbst zurückgeworfen, also von d nach c hin, dieser, dessen Einfallsloth hc ist, geht nach m zurück. Denkt man sich nun wieder beide Strahlen hinter den Spiegel hin so weit verlängert, bis sie sich irgend wo treffen, z. B. in x, so ist der Eindruck auf das Auge, zu welchem die reflectirten Strahlen gelangen, so, als ob diese Strahlen von dem Punkt x ausgingen, und das Bild von a scheint demnach in x zu liegen. Mit dem äußersten untern Endpunkt b des Gegenstandes geht es eben so. Da dieses nun mit allen andern Punkten des Gegenstandes ab derselbe Fall ist, so muß auch hier, wie bei dem ebenen Spiegel, das Bild des Gegenstandes hinter dem Spiegel zum Vorschein kommen. Dieses Bild, welches zwar in derselben Stellung erscheint, in welcher der Gegenstand ist, steht aber vergrößert aus, und erscheint weiter hinter der Spiegelfläche, als der Gegenstand davor ist. Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, daß bei einem sphärischen Hohlspiegel die Strahlen ca und cb, zwischen welche das Bild von ab fallen muß, nach der Richtung ax und by auseinander fahren. Je weniger dieses der Fall ist, d. h. je näher der Gegenstand dem Spiegel rückt, desto kleiner muß auch das Bild werden, und da sich in diesem Falle die Strahlen dx und hx, so wie die Strahlen ey und gy früher vereinigen, so rückt zugleich auch das Bild der Spiegelfläche näher.

Indessen tritt auch hier wieder die Abweichung der Strahlen wegen der Kugelgestalt ein, und bewirkt Unvollkommenheiten in der Darstellung des Bildes. Da nämlich nur diejenigen Strahlen in einem Punkt sich vereinigen, welche in gleicher Entfernung von der Achse auf den Spiegel fallen, so gibt es bei einem sphärischen Hohlspiegel für jeden Punkt eines Gegenstandes eine sehr große Menge von Strahlen, die verschiedene Vereinigungspunkte haben, und eben darum eine große Menge von Bildern. Außer dem Hauptbild des Gegenstandes, welches durch die Strahlen gebildet wird, die nahe bei der Achse einfallen, stellt ein sphärischer Hohlspiegel immer auch mehr oder weniger Nebenbilder dar, und obgleich sie schwächer als das Hauptbild sind, dieses doch verzerren und undeutlich machen. Je weniger Grade der Hohlspiegel faßt, desto geringer wird natürlich diese Unvollkommenheit. Bei größern Hohlspiegeln muß man, um die Nebenbilder abzuhalten, dem Rande derselben eine schwarze Belegung, die man Blendungen nennt, geben. Parabolische Hohlspiegel sind dieser Unvollkommenheit nicht unterworfen.

2) Der Gegenstand befindet sich in dem Brennpunkt oder dem kleinen Brennraum f (Fig. 171). In diesem Fall läßt sich leicht einsehen, daß nirgends ein deutliches Bild desselben sich zeigen kann, indem der größte

Digitized by Google

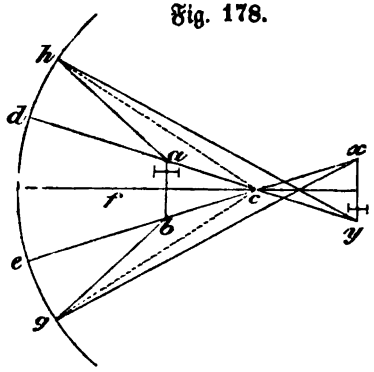
Fig. 171.




Theil der Strahlen, welche dann auf den Spiegel gelangen, in der Zurückwerfung parallel werden, folglich nirgends einen Vereinigungspunkt haben. Man sieht daher auch nur einen starken Lichtschein im Spiegel, aber kein Bild des Gegenstandes.

3) Befindet sich der Gegenstand ab (Fig. 178) zwischen dem Brennpunkt f und dem geometrischen Mittelpunkt c, so kann hier hinter dem Spiegel aus dem Grunde kein Bild entstehen, weil die Verlängerungen der reflectirten Strahlen nach dieser Richtung immer weiter auseinander gehen, und daher nirgends sich vereinigen. Zieht man aber wiederum durch den äußersten Endpunkt a des Gegenstandes einen senkrechten Strahl ad und einen schiefen ah, so wird jener in sich selbst nach dy, dieser, dessen Einfallsloth ch ist, nach hy zurückgeworfen. Da nun die verlängerten reflectirten Strahlen des Punktes a in y sich vereinigen, so muß hier das Bild dieses Punktes sich zeigen. Eben so ist es mit dem äußersten untern Endpunkt b beschaffen, wenn man den senkrechten Strahl be und den schiefen bg zieht, deren Reflexion in x sich vereinigt. Das Bild von ab liegt also jetzt vor der Spiegelfläche und hat, in Beziehung auf den Gegenstand, eine verkehrte Lage. Dieses verkehrte Bild, welches ein Luftbild genannt wird, weil es vor dem Spiegel in freier Luft erscheint, ist auch größer als der Gegenstand ab, indem hier cx und cy weiter auseinander stehen müssen, als ca und bc auseinander stehen. Je näher der Gegenstand dem Brennpunkt f liegt, desto mehr nähern sich die reflectirten Strahlen der parallelen Richtung, desto länger müssen sie auch werden, um sich zu vereinigen. Je näher demnach der Gegenstand dem Brennpunkt liegt, desto weiter liegen die Punkte x und y vom Spiegel weg, desto größer ist also auch die Entfernung des Luftbildes vom Spiegel, und auch das Bild selbst ist dann größer.

Fig. 178.




4) Dreht man den vorigen Fall um, und denkt sich xy (Fig. 178) als den Gegenstand, so wird jetzt ab das Bild desselben seyn. Hieraus geht hervor, daß ein Gegenstand, der jenseit des geometrischen Mittelpunkts c eines Hohlspiegels liegt, ein Luftbild gibt, dessen Ort zwischen dem Brennpunkt f und dem Mittelpunkt c ist, und daß dieses Bild verkehrt und kleiner als der Gegenstand seyn muß. Je weiter vom Mittelpunkt c der Gegenstand entfernt ist, desto näher liegt das Bild dem Brennpunkt f, und desto kleiner erscheint es. Daher man denn auch das Bild eines Gegenstandes, dessen Entfernung vom geometrischen Mittelpunkt des Hohlspiegels sehr groß ist, wie z. B. das Bild der Sonne, im Brennpunkt selbst sieht. Der Brennraum eines sphärischen Brennspiegels ist also

Digitized by Google

eigentlich nichts Anders, als der kleine Raum, in welchem das Sonnenbild sich zeigt.

5) Befindet sich der Gegenstand in der doppelten Brennweite, oder, was dasselbe ist, im geometrischen Mittelpunkt c, so fällt das Bild, das hier ebenfalls verkehrt seyn muß, auch in diesen Mittelpunkt, und folglich mit dem Gegenstande zusammen.

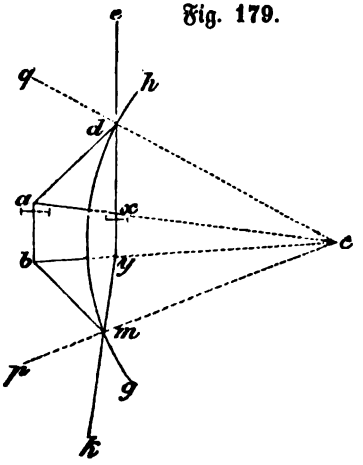
Alle diese verschiedenen Fälle kann man sehr gut beobachten, wenn man eine Lichtflamme vor den Spiegel bringt, und das Zimmer verfinstert, in welchem man die Beobachtung anstellt. Steht die Lichtflamme zwischen dem Brennpunkt und dem Spiegel, so wird man ihr Bild im Spiegel aufrecht und vergrößert wahrnehmen, doch etwas weiter hinter dem Spiegel, als das Licht davor ist. Je mehr man aber die Lichtflamme dem Brennpunkt nähert, desto größer wird das Bild, um desto mehr wird es hinter dem Spiegel hin sich zu entfernen scheinen. Steht die Lichtflamme im Brennpunkt, so wird man auch kein deutliches Bild derselben mehr wahrnehmen. Steht die Lichtflamme zwischen dem Brennpunkt und dem geometrischen Mittelpunkt des Spiegels, so läßt sich das Luftbild derselben, welches nunmehr entsteht, mit einer weißen Wand auffangen, auf der es sich verkehrt und vergrößert darstellt. Je weiter man aber die Lichtflamme vom Brennpunkt wegrückt, desto näher kommt das Luftbild, und desto kleiner wird es. Zum Unterschied des Bildes im Spiegel nennt man auch ein so aufgefangenes Luftbild ein wirkliches oder physisches Bild. Steht die Lichtflamme im geometrischen Mittelpunkt, so fällt das verkehrte Bild derselben mit ihr zusammen. Steht endlich die Lichtflamme über den Mittelpunkt hinaus, so fällt das physische Bild derselben, welches jetzt verkehrt und kleiner als die Lichtflamme ist, zwischen den geometrischen Mittelpunkt und den Brennpunkt.

Vermittelst eines Hohlspiegels lassen sich daher auch, mit passenden Vorrichtungen verbunden, allerlei sehr schöne Experimente machen, selbst Geistererscheinungen darstellen. Reverberirlampen bringen dadurch eine stärkere Beleuchtung hervor, daß man ein Licht in den Brennpunkt eines metallenen Hohlspiegels setzt, wodurch dessen Strahlen parallel mit der Achse zurückgeworfen werden, und den Lichtschein sehr verstärken. Von den Versuchen mit Hohlspiegeln über die Zurückwerfung der Wärmestrahlen war bereits früher schon die Rede (§ 169).

§ 200. (Erhabene Spiegel.) Viel einfacher als bei'm Hohlspiegel sind die Erscheinungen, welche durch einen erhabenen Spiegel zum Vorschein kommen, und dieses rührt daher, daß bei einem solchen Spiegel, der zwar auch aus einem Kugelabschnitt besteht, nicht die innere hohle, sondern die äußere erhabene Seite die spiegelnde Fläche ist. Der Gegenstand, dessen Licht auf den Spiegel fällt, mag vor dem Spiegel, wo er will, stehen, so tritt doch nie der Fall ein, daß dessen Bild verkehrt oder in freier Luft sich zeigt, sondern es ist immer hinter dem Spiegel und immer in derselben Stellung, die der Gegenstand vor dem Spiegel hat. Von einem ebenen Spiegel ist jedoch der erhabene darin verschieden, daß bei diesem das Bild kleiner als der Gegenstand ausfällt, und näher hinter der Spiegelfläche zu liegen scheint, als dieser davor ist. Je weiter man den Gegenstand von dem Spiegel entfernt, desto verkleinerter wird dessen Bild. Stellt nämlich hg (Fig. 179) einen erhabenen Spiegel vor, vor welchem ein Gegenstand ab sich befindet, so kann man auch hier wieder zwei senkrechte Strahlen ax und by, von den beiden äußersten Punkten desselben, auf den Spiegel

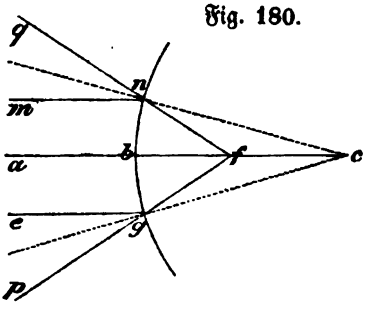
Digitized by Google

Fig. 179.




gezogen denken, die dann in sich selbst zurückgeworfen werden. Zieht man ferner den schiefen Strahl ad, dessen Einfallsloth cq ist, so wird dieser nach de zurückgeworfen, und in x vereinigt sich dessen Verlängerung mit ax. Die reflectirten Strahlen ax und de kommen nun so zum Auge, als ob sie vom Punkt x ausgingen, dort also zeigt sich das Bild vom Punkt a. Dasselbe findet mit dem schiefen Strahl bm statt, dessen Einfallsloth cp ist, und der nach mk zurückgeworfen wird. Verlängert, trifft er mit by in y zusammen, und bildet dort den Punkt b ab. Der ganze Gegenstand ab ist demnach in xy abgebildet. Da die beiden Gränzpunkte des Bildes x und y zwischen den senkrechten Strahlen ac und bc liegen müssen, diese Strahlen aber nach dem Spiegel zu sich einander nähern, so muß das Bild xy auch kleiner als der Gegenstand ab erscheinen. Rückt der Gegenstand weiter vom Spiegel weg, so sieht man ein, daß alsdann der schiefe Strahl ad, so wie der schiefe Strahl bm, unter einem kleinern Winkel einfallen, mithin auch unter einem kleinern Winkel zurückgeworfen werden. Je kleiner aber der Zurückwerfungswinkel ist, desto länger muß die Verlängerung von de werden, bis sie mit dem Strahl ax sich vereinigt. Dasselbe ist dann natürlich auch der Fall mit dem Strahl bm, bis er mit by sich vereinigt. Das Bild muß also weiter vom Spiegel wegrücken, aber auch kleiner erscheinen, weil es alsdann zwischen engere Gränze von ac und bc fällt.

Fig. 180.




Strahlen, wie mn und eg (Fig. 180), welche mit der Achse ac parallel auf einen erhabenen Spiegel fallen, werden so nach nq und gp zurückgeworfen, daß deren Verlängerungen hinter der Spiegelfläche in dem Punkt f zusammenlaufen. Dieser Punkt liegt dann in der Mitte des Halbmessers bc. Die parallelen Strahlen mn und eg scheinen also von f aus herzukommen, und sind daher in ihrer Zurückwerfung auseinanderfahrend. Hieraus geht hervor, daß ein erhabener Spiegel, dessen Achse gegen die Sonne gerichtet ist, die Strahlen derselben nicht sammelt, sondern zerstreut, weßhalb er auch Zerstreuungsspiegel heißt. Der Brennpunkt, der hier hinter dem Spiegel in f, also da liegt, wo das verkleinerte Sonnenbild sich zeigt, wird darum auch der negative Brennpunkt oder Zerstreuungspunkt (eingebildeter Brennpunkt), und dessen scheinbare Entfernung fb vom Spiegel die negative Brennweite oder Zerstreuungsweite genannt.

Digitized by Google

Die Abweichung der Strahlen wegen der Kugelgestalt muß aber auch bei einem erhabenen Spiegel, eben so wie bei einem Hohlspiegel, stattfinden, und das Bild eines Gegenstandes dadurch eine gewisse Verzerrung erhalten.

§ 201. (Cylinder- und Kegelspiegel.) Cylinder- und Kegelspiegel sind der Länge nach ebene, der Rundung nach erhabene Spiegel. Beide Spiegelarten bilden daher einen Gegenstand, dessen Licht darauf fällt, theilweise in natürlicher Größe, theilweise verkleinert, und in verschiedenen Entfernungen von der Spiegelfläche ab. Nothwendig müssen aber dadurch die Theile des Bildes, welche denselben Theilen des Gegenstandes entsprechen, eine veränderte Lage bekommen, ihren regelmäßigen Zusammenhang verlieren, und das ganze Bild muß dann höchst verzerrt werden. Darum sind auch diese Spiegel von geringer Wichtigkeit für optische Untersuchungen, und meistens nur als optische Spielwerke zu betrachten. In dieser Hinsicht gibt es eigne, ganz verzerrt gezeichnete Figuren, die man katoptrische Anamorphosen oder katoptrische Verwandlungen nennt, die von geringer Länge und im Verhältniß zu dieser von übermäßig großer Breite sind. Werden diese Figuren, die ohne Spiegel ganz sonderbar verzerrt aussehen, und für den Kegelspiegel noch verzerrter gezeichnet seyn müssen, als für den Cylinderspiegel, durch den dazu gehörigen Spiegel erforderlichermaßen betrachtet, so stellen sie ganz regelmäßige Bilder dar, was allerdings einen recht unterhaltenden Anblick gewährt.

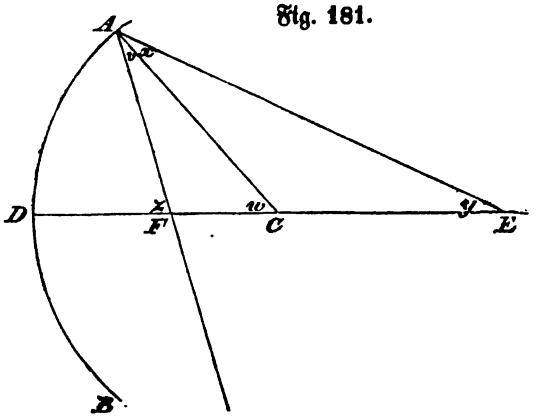
§ 202. (Katoptrische Gleichung.) Optische Rechnungen, wo Alles in der größten Strenge durchgeführt werden soll, können ungemein schwierig und verwickelt werden. Ueberall aber, wo man bloß auf das Praktische sieht, fallen manche Schwierigkeiten von selbst weg, durch gewisse Bedingungen, auf die man die Untersuchung stützen kann. Dieses ist auch in der Katoptrik und Dioptrik der Fall, wenn von Spiegeln und Gläsern die Rede ist, die scharfe Bilder geben sollen, wo man dann immer davon ausgehen kann, daß bei diesen Instrumenten die Breite im Verhältniß zu der Brennweite nur klein sey.

Dieß vorausgesetzt, kann man beweisen, daß es zwischen der Brennweite p eines Hohlspiegels, der Entfernung s eines davor liegenden leuchtenden Punktes und der Entfernung m, in welcher ein zurückgeworfener Strahl die Achse des Hohlspiegels durchschneidet, eine Gleichung gibt, aus der alle katoptrische Erscheinungen sich erklären lassen.

Es sey (Fig. 181) ADB ein sphärischer Spiegel in dessen Achse DE ein leuchtender Punkt E steht. Ein Strahl EA treffe den Spiegel in A, und werde nach F zurückgeworfen; der geometrische Mittelpunkt des Spiegels sey in C, also CA senkrecht auf der Spiegelfläche. Nun ist $v = x$ (§ 197). In dem Tr. AFC ist aber z ein äußerer anliegender Winkel, also ist auch $v = z - w$; eben so ist auch $x = w - y$, daher ist auch $z - w = w - y$, oder $z + y = 2w$. Weil aber, wenn deutliche Bilder entstehen sollen, der Bogen AD gegen DF, DC und DE nur sehr klein seyn darf, so kann man ihn als eine gerade Linie ansehen, welche auf CD bei D senkrecht ist. Alsdann liegt aber auch A sehr nahe an D und die Winkel z, w und y sind nur sehr kleine Winkel, für welche AD der Sinus ist. Daher ist $DF = \text{Cos. } z$; $DC = \text{Cos. } w$; $DE = \text{Cos. } y$. Da nun $z - w = w - y$, so ist auch für diese sehr kleinen Winkel $\text{tg } z - \text{tg } w = \text{tg } w - \text{tg } y$. Weil aber die Tangente eines Winkels

Digitized by Google

Fig. 181.




gefunden wird, wenn man den Sinus des Winkels durch den Cosinus dividirt, so ist auch:

$$\frac{AD}{DF} - \frac{AD}{DC} = \frac{AD}{DC} - \frac{AD}{DE}$$

$$\text{oder } \frac{AD}{DF} + \frac{AD}{DE} = \frac{2AD}{DC}.$$

Dividirt man diese Gleichung durch AD, so erhält man

$$\frac{1}{DF} + \frac{1}{DE} = \frac{2}{DC}.$$

Wird nun die oben angenommene Bezeichnung p, a und m für DF, DE und DC gesetzt, so ist DC, oder der Halbmesser des Spiegels $= 2p$; $DF = m$; $DE = a$, daher hat man

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{a} = \frac{1}{p}$$

und dieses ist die verlangte Gleichung. Weil man nun einen Bruch, dessen Zähler 1 ist, den umgekehrten Werth seines Nenners nennt, so drückt man diese Gleichung in Worten auf folgende Weise aus: Der umgekehrte Werth der Brennweite ist gleich der Summe der umgekehrten Werthe der Entfernungen des leuchtenden Punktes und seines Bildes vom Spiegel.

Beispiele. 1) E (Fig. 181) liege vor dem Spiegel, p sey $=$ 9 Zoll, $a = 29$ Zoll, so ist

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{20} = \frac{1}{9}$$

$$\text{oder } \frac{1}{m} = \frac{20 - 9}{180} = \frac{11}{180}$$

$$\text{oder } 11m = 180$$

$$\text{also } m = 180 : 11 = 16^4/_{11} \text{ Zoll.}$$

2) Ist, für E vor dem Spiegel, $p = 10$ Zoll, $a = 20$ Zoll, so ist $m = 20$ Zoll, d. h. der zurückgeworfene Strahl fällt wieder nach E.

3) Wäre aber $p = a$, so ist $m = o$, d. h. die zurückgeworfenen Strahlen können sich gar nicht vereinigen.

Digitized by Google

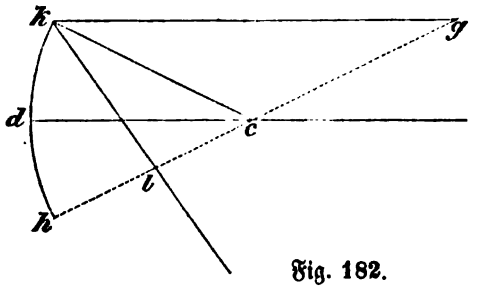
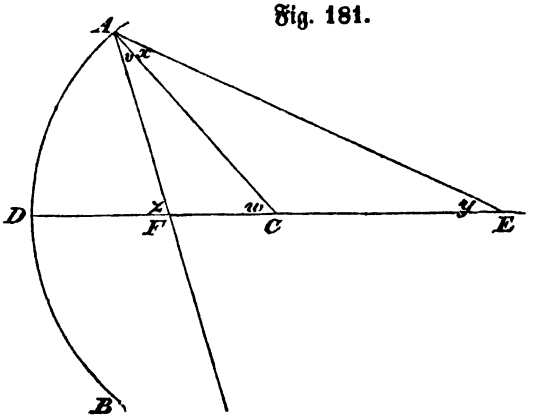



Fig. 182.

4) Läge der leuchtende Punkt außer der Achse, z. B. in g (Fig. 182), jedoch nahe bei derselben, so kann man den Strahl gh, der durch den geometrischen Mittelpunkt c geht, und den man den Haupt-strahl zu nennen pflegt, in der angegebenen Voraussetzung, als die Achse ansehen. Wird nun der Strahl gk nach kl zurückgeworfen, so ist jetzt hl = m. Ist gh = 20 Zoll und p = 9 Zoll, so ist wieder m = $16^4/_{11}$ Zoll.

5) Ist der leuchtende Punkt E oder g (Fig. 181 und 182) sehr weit

Fig. 181.




vom Spiegel, z. B. die Sonne, so wird $\frac{1}{a}$ ein so kleiner Bruch, daß man ihn ganz weglassen kann, und so ist $\frac{1}{m} = \frac{1}{p}$ oder m = p (§ 199).

6) Es sey p = 20 Zoll, a = 9 Zoll, so ist m = — $16^4/_{11}$ Zoll, d. h. die zurückgeworfenen Strahlen vereinigen sich hinter dem Spiegel.

Daß die Gleichung

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{a} = \frac{1}{p}$$

auch für erhabne Spiegel gelte, ist von selbst klar, nur muß man hier p negativ annehmen, wenn es für Hohlspiegel positiv ist. Da aber hier der Durchschnitt der einfallenden Strahlen hinter dem Spiegel liegt, so ist auch a negativ, und die Gleichung ist jetzt:

$$\frac{1}{m} - \frac{1}{a} = -\frac{1}{p}$$

wo dann wieder m = — $16^4/_{11}$ Zoll, wenn p = 9 und a = 20 angenommen wird.

Digitized by Google

§ 203. (Brechung des Lichts.) Daß das Licht so lange seine gerade Richtung beibehält, so lange die materielle Beschaffenheit des durchsichtigen Raumes, durch den es sich bewegt, unverändert bleibt, daß es aber bei dem Uebergang aus einem durchsichtigen Raum in einen andern, dessen materielle Beschaffenheit von dem vorigen verschieden ist, oder, wie man es zu nennen pflegt, bei dem Uebergang von einem durchsichtigen Mittel in ein anderes, von der geraden Richtung abgelenkt werde, ist bereits erwähnt worden (§ 189). Diese Ablenkung von der ursprünglichen geraden Richtung zu einer andern nennt man die Brechung oder die Refraction des Lichts.

Da das Licht nur dann durch einen Raum durchgehen kann, wenn der Körper, der diesen Raum einnimmt, durchsichtig ist, so wird man gleichsam von selbst darauf geführt, zu fragen: Welche Körper sind denn eigentlich durchsichtig, und wie muß ein Körper beschaffen seyn, um diese Eigenschaft in einem höhern Grad, als ein anderer zu besitzen? Der Erfahrung gemäß sind alle Luftarten, der größte Theil der tropfbaren und eine große Menge fester Körper, z. B. Glas, geöltes Papier u. s. w. in hohem Grade durchsichtig. Da aber auch dünne Holzplättchen, dünne Plättchen von Metall Durchsichtigkeit besitzen, obgleich diese Materien in dickerer Masse undurchsichtig sind, so kann man wohl sagen, daß im Grunde vielleicht kein einziger Körper existirt, der nicht einen gewissen Grad von Durchsichtigkeit besäße. Indessen legt man diese Eigenschaft vorzugsweise den Körpern bei, bei welchen sie sich in einem so hohen Grade findet, daß selbst bei mäßiger Dicke der Körpermasse das Licht immer noch leicht und in beträchtlicher Menge hindurch gehen kann. In dieser Hinsicht sind also die Metalle, die Holzarten u. s. w. als undurchsichtig zu betrachten. Daß aber der verschiedene Grad der Durchsichtigkeit nicht einzig und allein von dem größern oder geringern Grad der Dichtigkeit der Körper abhängen kann, wie man vielleicht auf den ersten Anblick hin anzunehmen geneigt seyn mag, läßt sich leicht daraus wahrnehmen, daß viele Körper, wie z. B. Holz, Papier, Schwamm u. s. w., weit lockerer als andere sind, z. B. wie Wasser, Glas u. s. w., und dennoch eine viel geringere, fast gar keine, Durchsichtigkeit besitzen. Hieraus geht von selbst hervor, daß der verschiedene Grad der Durchsichtigkeit eines Körpers gegen einen andern Körper noch von andern Ursachen abhängen müsse. Diese aufzufinden, haben sich auch von jeher ausgezeichnete Naturforscher sehr angelegen seyn lassen, konnten aber, da das eigentliche Wesen des Lichts völlig unbekannt ist, immer nur mehr oder weniger haltbare Hypothesen aufstellen. Nach der Undulationstheorie leitet man diesen verschiedenen Grad der Durchsichtigkeit davon ab, daß der Aether in solchen Körpern, die stärker als andere das Licht brechen, eine größere Dichtigkeit besitze, und daß ein durchsichtiger Körper überhaupt die Beschaffenheit habe, selbst in Schwingungen zu gerathen und diese Vibrationen durch seine inneren Theile fortzuleiten. Nach dem Emanationssystem sucht man diese Erscheinung durch die Annahme zu erklären, daß zwischen der Materie eines jeden Körpers und dem Lichte eine gewisse Verwandtschaft nach verschiedenen Graden stattfinde.

Ist diese Verwandtschaft nur gering, so werden nur sehr wenig Lichtstrahlen von der Materie des Körpers aufgenommen; sie werden vielmehr in großer Menge von der Oberfläche eines solchen Körpers zurückgewiesen, und können daher auch nicht durch ihn hindurch gehen. Körper der Art sind also undurchsichtig. Ist hingegen die Verwandtschaft innig, so zieht

Digitized by Google

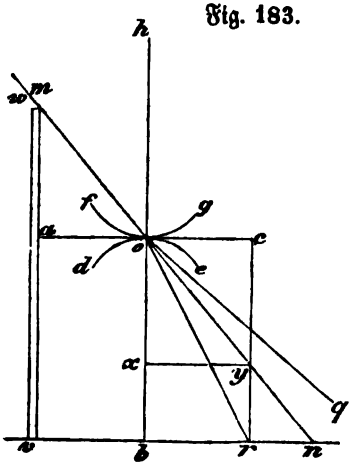
die Oberfläche eines solchen Körpers die Lichtstrahlen an, welche auf sie zukommen, und leitet sie in das Innere des Körpers. Ist nun hier der Körper überall gleichförmig dicht, so heben sich dadurch die Anziehungen, da sie nach allen Richtungen gleich stark sind, einander auf, hemmen demnach den Durchgang der Lichtstrahlen nicht, und diese kommen daher durch die entgegengesetzte Oberfläche wieder aus dem Körper heraus. Solche Körper sind also durchsichtig. Dicke Holz- und Metallmassen, selbst Glasmassen von beträchtlicher Dicke, haben aber in ihren innern Theilen keine so gleichförmige Dichtigkeit, die Lichtstrahlen werden daher hier auf sehr mannigfaltige Weise theils gebrochen, theils zurückgeworfen, und können darum auch nicht durch den Körper durchgehen. Nach Beschaffenheit der Materie sind also, selbst durchsichtige Körper, bei einer gewissen Dicke nicht mehr durchsichtig. Da die schwarze Farbe die Eigenschaft besitzt, das Licht für unser Auge unthätig zu machen, so können auch Körper, welche diese Farbe haben, auf keinen Fall durchsichtig seyn. Je glätter aber die Oberflächen eines Körpers sind, desto vollkommener besitzt er auch die Eigenschaft der Durchsichtigkeit. Bei tropfbaren Körpern wird diese Glätte durch den Druck, den die Theile aufeinander ausüben, auf natürlichem Wege bewirkt, bei festen Körpern aber ist sie in den meisten Fällen ein Werk der Kunst.

Wie die Grundgesetze der Reflexion, so sind auch die der Refraction, von welchen die Erklärung der dabei vorkommenden Erscheinungen abhängen, sehr einfach. Es sind folgende:

1) Wenn ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Mittel (§ 189) in ein anderes übergeht, beide Mittel aber aus einerlei Materie bestehen, und gleiche Dichtigkeit haben, so findet gar keine Brechung statt, und der Strahl geht in diesem Fall in seiner geraden Richtung fort.

2) Geht aber ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes über, und sind beide Mittel zwar der Materie nach einerlei, aber von verschiedener Dichtigkeit, so erleidet der Lichtstrahl, der aus dem dünnern in das dichtere, oder aus diesem in jenes übergeht, eine Brechung. Denkt man sich an der Stelle der brechenden Fläche, wo der Lichtstrahl durchgeht, eine senkrechte Linie errichtet, so macht der einfallende und der durchgehende Lichtstrahl mit dieser Linie, sowohl am Einfalls- als Durchgangspunkt, einen Winkel. Der Winkel am Durchgangspunkt fällt aber um so kleiner aus, je dichter das Mittel ist, in welches der Lichtstrahl seinen Uebergang genommen hat.

Fig. 183.




3) Sind endlich beide Mittel sowohl der Materie, als auch der Dichtigkeit nach, von einander verschieden, so hängt die Größe dieses Winkels von beiden Umständen zugleich ab. Je größer die Wirkung des brechenden Mittels auf den durchgehenden Lichtstrahl ist, desto kleiner wird dieser Winkel.

Wenn also (Fig. 183) ein Lichtstrahl mo schief aus einem

Digitized by Google

durchsichtigen Mittel gegen die Oberfläche eines andern durchsichtigen Mittels ankommt, die Oberfläche dieses Mittels mag eben, wie ac, oder hohl, wie fg, oder erhaben, wie de seyn, so wird er nicht gebrochen, und geht in der geraden Richtung nach on fort, wenn beide Mittel aus einerlei Materie bestehen, und gleich dicht sind. Ist aber das durchsichtige Mittel, in welches er einfällt, dichter als das Mittel, aus welchem er herkommt, so wird er in der Stelle o gebrochen und geht, weil das dichtere Mittel ihn stärker anzieht als das dünnere, nach der Richtung or fort. Errichtet man nun aus dem Einfallspunkt o die senkrechte Linie hb, die man das Einfallsloth nennt, so bildet der einfallende Strahl mo mit diesem Einfallsloth den Winkel moh. Dieser Winkel wird der Einfallswinkel genannt. Der gebrochene Strahl or bildet mit dem Einfallsloth den Winkel bor, diesen nennt man den Brechungswinkel, und dieser ist, bei dem Uebergang des Lichtstrahls aus einem dünnern in ein dichteres Mittel, kleiner als der Einfallswinkel. Den Winkel ron, welcher von dem gebrochenen Strahl or und der geraden Verlängerung on gebildet wird, pflegt man den gebrochenen Winkel oder Ablenkungswinkel zu nennen.

Ist der Fall umgekehrt, geht nämlich ein Lichtstrahl aus einem dichtern Mittel in ein dünneres über, so wird er zwar an dem Einfallspunkt o ebenfalls gebrochen, da aber das dünnere Mittel ihn minder anzieht als das dichtere, so geht er jetzt nach oq fort. In diesem Falle ist also der Brechungswinkel boq größer als der Einfallswinkel moh.

Aus dem Bisherigen folgt nun ferner von selbst, daß ein Lichtstrahl, welcher an sich schon senkrecht auf ein durchsichtiges Mittel fällt, er mag aus einem dünnern in ein dichteres, oder aus einem dichteren in ein dünneres gerathen, weder Einfalls- noch Brechungswinkel haben kann. Ein solcher Strahl wird demnach niemals gebrochen.

Da nun bei dem Uebergang eines schiefen Lichtstrahls aus einem dünnern in ein dichteres Mittel der gebrochene Strahl or dem Einfallsloth näher rückt, als wenn er in der geraden Richtung on fortginge, so sagt man: ein solcher Strahl werde zum oder gegen das Einfallsloth gebrochen, zum Einfallsloth hingelenkt. Bei dem Uebergang aus einem dichtern in ein dünneres Mittel aber, wo der gebrochene Strahl oq weiter vom Einfallsloth wegrückt, als wenn er in der geraden Richtung on fortginge, sagt man: er werde vom Einfallsloth gebrochen, vom Einfallsloth abgelenkt.

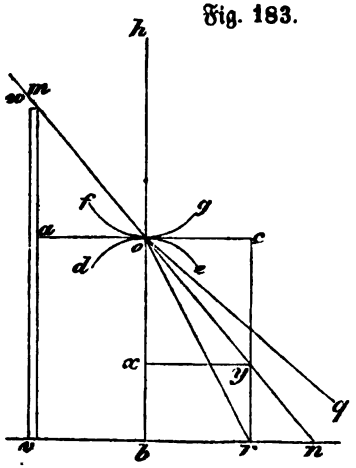
§ 204. (Brechungsvermögen.) Das Brechungsvermögen zweier Körper kann nur durch Versuche allein bestimmt werden. Diese sind auch von vielen Physikern angestellt und tabellarisch geordnet worden. So weiß man, daß die atmosphärische Luft ein geringeres Brechungsvermögen als Wasser hat, und daß das Brechungsvermögen von diesem wieder geringer als das des Glases ist. Bei diesen, so wie überhaupt bei den meisten Körpern, findet sich demnach das größte Brechungsvermögen bei denen, deren Dichtigkeit am größten ist. Die atmosphärische Luft, die je höher, je dünner wird, hat daher ein desto größeres Brechungsvermögen, je näher sie der Erdoberfläche ist. Lichtstrahlen, welche durch übereinander liegende Luftschichten schief bis zur Erde gelangen, müssen demnach eine unendliche Brechung erleiden, ihre Richtung unaufhörlich verändern. Eine Linie aber, deren Richtung eine unaufhörliche Veränderung erleidet, muß eine krumme Linie werden, woraus folgt, daß die meisten Lichtstrahlen, welche ein himm-

Digitized by Google

lischer Körper zur Erde sendet, in krummer Linie zur Erde gelangen. Wir können froh seyn, daß die Luftschichten eine so verschiedene Brechbarkeit besitzen; besäßen sie eine durchaus gleiche Brechbarkeit, so würden nur die senkrechten Strahlen zu uns gelangen, die schiefen aber für uns verloren seyn, wodurch Licht und Wärme auf der Erde ungemein sich verringern müßten. Da nicht alles Glas einerlei Dichtigkeit hat, so ist auch hier die Brechbarkeit desto größer, je dichter das Glas ist. Flintglas, d. i. solches Glas, unter dessen Bestandtheilen Bleioxyd enthalten, und welches dichter als Kronglas, d. i. solches Glas, welches bloß Kiesel und Kali enthält, bricht daher auch die Lichtstrahlen stärker als dieses. Geht demnach ein schiefer Lichtstrahl aus gemeiner Luft in Wasser über, so wird er zum Einfallsloth hingelenkt, und noch mehr, wenn er aus solcher Luft in Glas geht. Eben so wird er auch zum Einfallsloth hingelenkt, wenn er aus Wasser in Glas geht. Im umgekehrten Fall aber wird er vom Einfallsloth abgelenkt. Daß es indessen auch Fälle gibt, wo ein dichterer Körper ein geringeres Brechungsvermögen besitzt, als ein dünnerer, und daß es mithin nicht immer allein nur von der größern Dichtigkeit des materiellen Mittels abhängt, damit ein schiefer Lichtstrahl eine größere oder geringere Brechung erleide, ist ebenfalls durch Versuche dargethan worden. So weiß man, daß besonders brennbare Körper, wie Weingeist, Terpentinöl, Leinöl u. s. w., obgleich minder dicht als Wasser, das Licht doch stärker als dieses brechen, so daß ein Lichtstrahl, der aus Wasser in einen solchen Körper übergeht, gegen das Einfallsloth hingelenkt wird. Auch unter den Gasarten ist dieses der Fall. So wird z. B. ein Lichtstrahl, welcher aus der atmosphärischen Luft in Wasserstoffgas übergeht, in diesem viel stärker gebrochen, obgleich dieses 13 bis 14mal specifisch leichter als jene ist (§ 133. III. und § 136).

Aus der großen brechenden Kraft, die Newton bei dem Diamant wahrnahm, schloß er schon auf dessen Brennbarkeit, obgleich man damals davon noch nichts wußte, und ihn vielmehr zu den Kieselsteinen zählte. Auch im Wasser vermuthete dieser geniale Denker, der großen Brechbarkeit wegen, einen brennbaren Bestandtheil, obgleich es lange noch als Element galt.

Fig. 183.




§ 205. (Brechungsverhältniß.) Unter avrc (Fig. 183) stelle man sich einen gläsernen Würfel vor, der auf zwei Brettchen vn und vw steht, die rechtwinklich aneinander gefügt, und breiter als der Würfel sind. Diese Vorrichtung setze man so in den Sonnenschein, daß ein schiefer Lichtstrahl mo darauf fällt. Dieser wird bei o, wo er in das Glas kommt, nach or gebrochen, geht aber außen am Würfel in der geraden Richtung on fort. Der Schatten des Brettchens vw wird demnach im Würfel bis r, außerhalb desselben bis n reichen. Da hb das Einfallsloth ist, so ist moh der Einfallswinkel, und bon ist ihm gleich; hor ist der Brechungswinkel. Durch den

Digitized by Google

Punkt y, wo der Schatten den Würfel außerhalb trifft, ziehe man xy parallel mit br, so müssen sich diese beiden Linien gleich seyn, weil hb parallel mit cr ist. Aus den beiden folgenden Proportionen, die nach dem Satz, daß in jedem Dreieck die Seiten sich verhalten, wie die Sinuse der gegenüberliegenden Winkel, richtig seyn müssen, nämlich:

1) oy : xy = sin. tot. : sin. xoy oder sin. bon oder sin. moh

2) or : br = sin. tot. : sin. bor

folgt ferner: oy × sin. moh = xy × sin. tot.
or × sin. bor = br × sin. tot.

Und weil xy und br gleich sind, so muß auch:
oy × sin. moh = or × sin. bor

hieraus folgt: oy : or = sin. bor : sin. moh

d. h. ein Lichtstrahl, welcher aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergeht, wird so gebrochen, daß allemal für diese beiden Mittel zwischen dem Sinus des Brechungswinkels und dem Sinus des Einfallswinkels dasselbe Verhältniß stattfindet, der Einfallswinkel mag von welcher Größe, als er will, seyn. Der Exponent dieses Verhältnisses wird der Brechungsexponent genannt.

Dieses Gesetz, welches man das Brechungsverhältniß nennt, so wie das Gesetz, daß der gebrochene Strahl allemal in derselben Ebene liegt, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallsloth liegen, machen die beiden Grundgesetze der ganzen Dioptrik aus.

Diese Brechungsgesetze wurden von Snellius, einem berühmten holländischen Mathematiker (geb. 1591, gest. 1626), entdeckt, und von Descartes zuerst bekannt gemacht. Vor Snellius glaubte man, daß der Einfalls- und der Brechungswinkel selbst das Brechungsverhältniß bestimmten, was aber nur dann ohne merklichen Fehler richtig ist, wenn die Winkel nicht über 30 Grad betragen. Selbst der scharfsinnige Kepler vermochte das richtige Gesetz der Strahlenbrechung nicht zu finden, obgleich er es war, der die Optik zuerst auf richtige Grundsätze zurückführte.

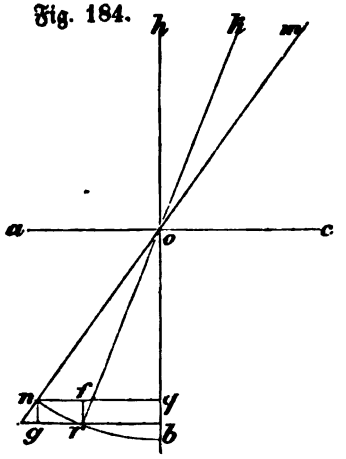
Das Brechungsverhältniß, dessen Richtigkeit sich auch noch auf andere Weisen, theils aus der Newton'schen Hypothese von der Verwandtschaft des Lichts zu den materiellen Körpern, theils mit mehr mathematischer Theorie, darthun läßt, gibt Mittel an die Hand, den Weg, den ein gebrochener Strahl nehmen muß, zu zeichnen und zu berechnen, wenn man das Brechungsverhältniß der beiden Mittel und den Einfallswinkel kennt.

Beispiele. 1) Ein Lichtstrahl gehe nach der Richtung mo (Fig. 184) aus gemeiner Luft in gemeines Glas über. Da hier das Brechungsverhältniß 3 zu 2 ist (genauer 17 zu 11) so kann man die Richtung des gebrochenen Strahls auf folgende Weise zeichnen. Man ziehe das Einfallsloth hb, beschreibe mit einem beliebigen Halbmesser bo aus o den Bogen nrb, und von n, wo der Bogen die Verlängerung des einfallenden Strahls schneidet, ziehe man nq senkrecht auf hb. Von n aus theile man nq in drei gleiche Theile und ziehe aus dem ersten Theilpunkt f die senkrechte Linie fr, bis sie den Bogen in r trifft. Nun ziehe man or, so zeigt diese Linie die Lage des gebrochenen Strahls an. Um dieses zu beweisen, ziehe man gb parallel mit nq. Da nun nq der Sinus von nob, also auch der Sinus des Einfallswinkels moh, und rb der Sinus des



Digitized by Google

Fig. 184.




Brechungswinkels rob ist, so verhält sich sin. moh : sin. rob = nq : rb = 3 : 2.

2) Wäre der Fall umgekehrt, ging nämlich ein Lichtstrahl ko aus gemeinem Glase in atmosphärische Luft über, so ist nunmehr das Brechungsverhältniß wie 2 zu 3, und man findet jetzt, wo der Einfallswinkel koh ist, die Richtung des gebrochenen Strahls auf folgende Weise: Wie vorhin ziehe man das Einfallsloth hb und beschreibe den Bogen rb, ziehe von r aus die senkrechte rb auf hb, halbire sie, und mache sie um die Hälfte gr länger. Zieht man og, so hat man die Richtung des gebrochenen Strahls. Denn führt man die Zeichnung, wie im ersten Beispiel aus, so ist rb = sin. rob = sin. koh und nq = sin. des Brechungswinkels nob, diese beiden Sinuse verhalten sich demnach wie 2 zu 3.

3) Soll für das erste Beispiel or durch Rechnung gefunden werden, so ist: sin. nob oder sin. moh = $^3/_2$ sin. rob; also sin. rob = $\frac{2 \times \text{sin. moh}}{3}$ = log. 2 + log. sin. moh — log. 3. Wäre z. B. moh = 70°, so ist sin. rob = log. 2 + log. sin. 70° — log. 3 = 9,7968945; also rob = 38° 47′ 22,3″. Unter diesem Winkel müßte man or ziehen.

4) Soll für das zweite Beispiel on berechnet werden, so ist sin. rob oder sin. koh = $^2/_3$ sin. nob. Also sin. nob = $\frac{3 \times \text{sin. koh}}{2}$ = log. 3 + log. sin. koh — log. 2. Nimmt man z. B. rob, wie vorhin gefunden, an, so ist jetzt nob = 70°.

Bezeichnet allgemein x den Einfallswinkel, y den Brechungswinkel, n das Brechungsverhältniß, so ist:

1) $n = \frac{\text{sin. x}}{\text{sin. y}}$

2) n sin. y = sin. x.

3) $\frac{\text{sin. x}}{n}$ = sin. y.

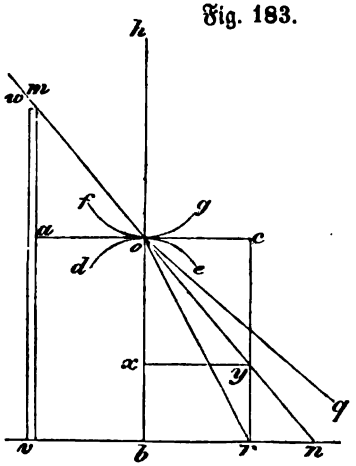
§ 206. (Brechungsgränze.) Wie jeder senkrecht auffallende Strahl, die beiden Mittel mögen seyn, wie sie wollen, immer ohne Brechung fortgehen muß, so müssen dagegen schief auffallende Strahlen immer desto stärker gebrochen werden, je schiefer sie auffallen. Bei dem Uebergang eines Lichtstrahls aus einem dichtern Mittel in ein dünneres gibt es jedoch eine Gränze, über welche hinaus ein schiefer Strahl nicht mehr gebrochen, sondern reflectirt wird. Dieses ist z. B. mit einem Strahle der Fall, der aus gemeinem Glase in die atmosphärische Luft gehen soll, und dessen Einfallswinkel 41 Grad und 49 Minuten beträgt. (Rechnet man nämlich hier nach dem vierten Beispiele, so findet man, daß der Sinus des Brechungswinkels größer werden müsse, als der Sinus totus, was aber unmöglich ist.) Weil aber die Oberflächen der brechenden Mittel immer eine gewisse Politur besitzen, daher spiegelnd sind, so ist überhaupt mit

Digitized by Google

jeder Brechung, der Strahl mag aus einem dünnern Mittel zu einem dichtern gelangen, oder umgekehrt, immer eine Zurückstrahlung verbunden, die um desto stärker ist, je schiefer der Strahl auffällt, weil jede polirte Fläche nach schräger Richtung am lebhaftesten spiegelt. Außerdem ist aber auch mit jeder Brechung die merkwürdige Erscheinung verbunden, daß der gebrochene Lichtstrahl aufhört, eine gerade Linie zu seyn, dagegen aber eine gewisse Breite annimmt, die verschieden gefärbt erscheint. Wo der Weg, den der Lichtstrahl bis zur brechenden Fläche zurückzulegen hat, nur klein ist, wird diese Farbenzerstreuung zwar unmerklich, allein mit der Zunahme des Weges wird sie immer beträchtlicher. Es gibt auch durchsichtige Körper, welche einen Lichtstrahl, der schief auf sie gelangt, in zwei Strahlen spalten, und nach ganz eigenen Gesetzen brechen. Zu diesen Körpern gehören der isländische Spath und viele krystallisirte Fossilien.

§ 207. (Folgen der Strahlenbrechung.) Durch die Brechbarkeit des Lichts wird ein sichtbarer Körper, dessen Lichtstrahlen durch verschiedene brechende Mittel zum Auge gelangen, in einer andern Lage und an einem andern Ort gesehen, als er in der Natur hat. Da nämlich von allen Strahlen, die von jedem sichtbaren Punkt eines sichtbaren Körpers durch Mittel von verschiedener Brechbarkeit zum Auge gelangen, nur immer der lothrechte Strahl ungebrochen gesehen wird, so kann auch nur in dieser Richtung der Körper da gesehen werden, wo er sich wirklich befindet. Strahlen aber, die schief von einem brechenden Mittel zum andern übergehen, und daher gebrochen in das Auge kommen, müssen nothwendig so erscheinen, als kämen sie von einem andern Ort her, als von dem sie wirklich ausgehen. Stellt z. B. obrc (Fig. 183) ein Gefäß vor, auf dessen Boden bei r ein sichtbarer Körper liegt, so wird ein Auge, das bei m sich befindet, den Körper nur dann in der geraden Linie, welche man von m bis r ziehen kann, erblicken, wenn das Gefäß leer ist. Ist es aber mit Wasser gefüllt, so wird z. B. der Strahl or, wenn er bei o in die Luft geht, vom Einfallsloth abgelenkt, kommt gebrochen zum Auge in m, und wird nun von diesem in der Verlängerung des gebrochenen Strahls mo, also etwa in y, mithin in einem höher liegenden Punkte, wahrgenommen. Da dieses aber nothwendig von allen Punkten des ganzen Körpers und des Bodens des Gefäßes gilt, so muß der ganze Boden hr so erscheinen, als ob er in xy läge. Hieraus lassen sich eine Menge von Erscheinungen und optischen Täuschungen erklären. Legt man auf den Boden eines Gefäßes irgend einen Körper, und entfernt sich so weit vom Gefäße, daß man den Boden nicht mehr sehen kann, so wird dieser und mit ihm der Körper wieder sichtbar, wenn man das Gefäß mit Wasser füllt. Steine, Fische und andere Dinge, welche auf dem Grund eines

Fig. 183.






Digitized by Google

klaren Wassers gesehen werden, scheinen höher zu liegen, das Wasser selbst überhaupt von geringerer Tiefe zu seyn, als es wirklich der Fall ist. Wer nach einem Fische im Wasser schießen will, darf daher nicht dahin zielen, wo er ihn sieht, sondern etwa um $^1/_4$ tiefer. Ein Stock, den man schief ins Wasser hält, sieht gekrümmt aus, weil die Strahlen, die von den Theilen ausgehen, welche unter dem Wasser liegen, nach andern Richtungen in's Auge gelangen, als die Strahlen der Theile, die über dem Wasser liegen. Hierher gehört auch die astronomische Strahlenbrechung, welche darin besteht, daß jeder Himmelskörper nicht so weit nach dem Horizont hin zu stehen scheint, als er wirklich steht, und woran die Brechung schuld ist, die dessen Licht erleidet, wenn es durch unsere Atmosphäre geht. Nur dann, wenn ein Himmelskörper im Scheitelpunkt, also gerade über uns steht, gelangen dessen Strahlen in senkrechter Richtung, mithin ungebrochen zu uns, erleiden aber eine desto stärkere Brechung, je schiefer sie zu uns gelangen, je näher demnach der Körper gegen den Horizont hin rückt. Da durch die stetig zunehmende Dichtigkeit der Luftschichten die Strahlen der Himmelskörper in krummer Linie zur Erde gelangen (§ 204), so werden Sonne und Mond eigentlich schon gesehen, ehe sie noch aufgegangen sind, indem die Lichtstrahlen derselben auf diesem krummen Wege unter dem Horizont her zum Auge gelangen, und sie sichtbar machen. Eben so sieht man diese Himmelskörper noch eine Weile am Rande des Horizonts schweben, wenn sie auch wirklich schon untergegangen sind. In den Polarländern, wo die Luft viel dichter als bei uns ist, dauert diese Erscheinung auch länger. Auf Nova Zembla z. B., wo die Sonne im October untergeht und erst im Februar wieder aufgeht, sieht man sie doch mehr als 14 Tage später unter den Horizont hin verschwinden, und eben so viel früher wieder heraufkommen. Diese astronomische Strahlenbrechung ist auch längst schon von den Astronomen wahrgenommen und für die Auffindung der wahren Höhe der Gestirne berechnet worden. Erleidet die Luft durch eine Veränderung in ihrer Schwere, welche das Barometer anzeigt, oder durch eine Veränderung in ihrer Wärme, welche das Thermometer anzeigt, oder durch beide zugleich, eine Veränderung in ihrer Dichtigkeit, so muß auch diese bei der astronomischen Strahlenbrechung mit in Anschlag kommen, daher der Astronom bei seinen Beobachtungen diese beiden Instrumente nicht entbehren kann (§ 162). Auch bei der geometrischen Messung einer Berghöhe darf die Strahlenbrechung nicht unberücksichtigt gelassen werden, weil sonst die Höhe zu groß ausfällt. Da die untersten Luftschichten immerwährender, sehr mannigfaltiger Veränderungen unterworfen sind, so daß zuweilen auch in gewissen Gegenden (z. B. in heißen Sandebenen durch die Hitze des Bodens) die untern Luftschichten mehr ausgedehnt und dünner werden, als die zunächst darüber liegenden, so erzeugt diese Unregelmäßigkeit, so lange sie dauert, ganz eigene, sehr merkwürdige Erscheinungen, die man allgemein Luftspiegelungen nennt. Wo nämlich dieses der Fall ist, werden Strahlen, welche aus den obern Luftschichten sehr schief auf die untern und dünnern fallen, nicht mehr gebrochen, sondern reflectirt (§ 206). Hierdurch können Bilder von Gegenständen sichtbar werden, die man im gewöhnlichen Fall, wegen der großen Entfernung der Gegenstände, gar nicht sieht, und die dann den überraschenden Anblick gewähren, daß sie in der Luft schweben. In den Sandwüsten Unterägyptens sind dergleichen Luftspiegelungen gar nichts Seltenes. Dörfer, die in der weiten Ebene liegen, stellen sich dem

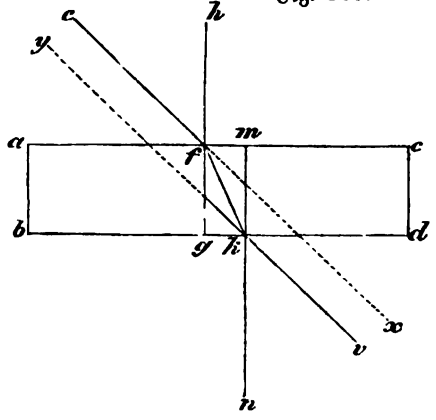
Digitized by Google

Auge wie Inseln dar, die über einem See zu liegen scheinen. Dergleichen Luftbilder machen zuweilen allerlei Bewegungen, werden bald aufrecht, bald verkehrt, bald größer, bald kleiner, einmal höher, ein andermal tiefer gesehen, je nachdem sich Brechung und Zurückwerfung dazu eignen. So werden an der schwedischen Küste, wo diese Erscheinung eine Erhebung und ein Seegesicht genannt wird, manchmal Inseln, Klippen, Waldungen, die weit entfernt sind, in der Luft gesehen, wo sie über einer Wasserfläche zu schweben scheinen. Auch bei Reggio, an der Meerenge von Messina, pflegen sich solche Luftspiegelungen, die man dort unter dem Namen Fata Morgana kennt, zu ereignen. Man hat sie auch an dem Erie-See in Nordamerika, wo sie Looming genannt werden, an der Küste der Nordsee, wo sie Uppdracht, in Niedersachsen, wo sie Kimmung heißen, in Ungarn und anderwärts wahrgenommen.

Wollaston gibt einen Versuch an, um eine ähnliche Erscheinung im Kleinen darzustellen. Ein vierkantiges langes, aber enges und dünnes Glas fülle man halb mit Wasser an, und gieße, mittelst eines Trichters, dessen röhrenförmiges Ende bis auf den Boden des Gefäßes reicht, Schwefelsäure ein, die sich, weil sie specifisch schwerer als Wasser ist, auf den Boden des Gefäßes ausbreitet, und das Wasser hebt, und sich nur an den Stellen mit dem Wasser vermischt, wo sich ihre Schichten zunächst berühren. Da nun Schwefelsäure ein größeres Brechungsvermögen als Wasser hat, so hat man in dem Glase eine Flüssigkeit von verschiedener Dichtigkeit und verschiedenem Brechungsvermögen. Klebt man nun unterhalb der sich mischenden Schichten, an eine Wand des Glases, etwa einen mit Buchstaben bezeichneten Papierstreifen, und bringt das Auge gegenüber in dieselbe Höhe, so kann man zwei deutliche Bilder dieser Buchstaben erblicken; ein unteres, das aufrecht, und ein oberes, das verkehrt ist, und sich als eine Art Luftspiegelung zeigt.

§ 208. (Geschliffene Gläser.) Besonders wichtig und von großem Nutzen ist die Brechbarkeit der Lichtstrahlen in ihrer Anwendung auf allerlei Arten von geschliffenen Gläsern. Ein Glas kann nämlich so geschliffen werden, daß die einander entgegengesetzten Oberflächen eben und gleichlaufend ausfallen. Stellt (Fig 185) ac die ebene Vorderfläche, bd die gleichlaufende ebene Hinterfläche eines solchen Glases vor, so folgt, daß ein schiefer Lichtstrahl ef, welcher aus Luft auf die Vorderfläche des Glases fällt, bei f gebrochen, und zum Einfallsloth gh hingelenkt wird. Im Glase habe er nun die Richtung fk. Geht er bei k durch die Hinterfläche des Glases wieder in dieselbe Luft über, aus der er herkam, so wird er hier abermals gebrochen, dabei aber vom Einfallsloth nm abgelenkt. Die Richtung kv, die er nunmehr bekommt, muß aber mit der Richtung ef, die er vor der ersten Brechung gehabt hat, gleichlaufend seyn. Dieß einzusehen, darf man

Fig. 185.




Digitized by Google

nur bedenken, daß der ausfahrende Strahl kv um eben so viel vom Einfallsloth abgelenkt werden muß, als der einfahrende Strahl ef zum Einfallsloth hingelenkt wird.

Mathematisch läßt sich dieser Beweis gründlicher so ausführen: Da fg und mk Perpendikel zwischen Parallellinien sind, so müssen sie auch selbst parallel seyn, folglich müssen auch die innern Wechselwinkel gfk und fkm gleich seyn. Weil nun der Strahl ef von Luft in Glas geht, so ist sin. gfk = $^2/_3$ sin. efh (§ 205) = $^2/_3$ sin. (gfk + kfx). Weil ferner der Strahl kv aus dem Glas wieder in dieselbe Luft geht, so ist auch sin. fkm = $^2/_3$ sin. nkv = $^2/_3$ sin. (fkm + fky). Weil gfk = fkm, so ist auch $^2/_3$ sin. (fkg + kfx) = $^2/_3$ sin. (gfk + fky). Also ist auch sin. (gfk + kfx) = sin. (gfk + fky), mithin ist auch sin. kfx = sin. fky, folglich kfx = fky. Da nun ex und yv von fk geschnitten werden, und die innern Wechselwinkel kfx und fky gleich sind, so muß ex parallel mit yv seyn, also ist kv parallel mit ef.

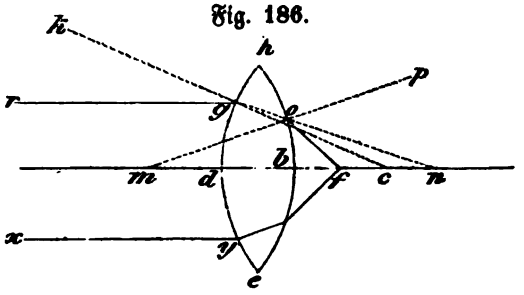
Die Gegenstände, welche man durch ein solches Planglas, dessen gegeneinanderliegende Flächen parallel sind, betrachtet, müssen daher sich eben so darstellen, wie wenn gar kein Glas da wäre, und die Lichtstrahlen ungebrochen blieben. Man kann aber auch ein Glas so schleifen, daß die gegeneinander über liegenden Flächen zwar eben, aber unter irgend einem Winkel gegeneinander geneigt sind. In diesem Fall, wo demnach die brechenden Flächen nicht mehr parallel sind, können es auch die ein- und ausfahrenden Lichtstrahlen nicht mehr seyn, und der Gegenstand, den man durch ein solches Glas betrachtet, muß anders aussehen, als er ohne dasselbe aussieht. So sieht man alle Gegenstände, die man durch ein dreiseitiges Prisma betrachtet, an ganz andern Stellen, als wo sie wirklich sind, und gefärbt. Durch ein Glas, bei welchem die eine Fläche eben, die andere gegenüber liegende aus vielen viereckigen oder vieleckigen Flächen besteht, und das man ein Rautenglas oder ein Polyederglas nennt, sieht man einen Gegenstand so vielmal, so viel Flächen sich auf der einen, dem Gegenstande zugekehrten Seite des Glases gegen einander neigen. Hierher gehören auch die optischen Spielwerke, welche man dioptrische Anamorphosen nennt. Die bestehen darin, daß die einzelnen Theile eines Gegenstandes ganz ordnungslos, jedoch nach gewissen Regeln, am Rande eines Papiers so gezeichnet sind, daß sie den Gegenstand, den sie bezeichnen sollen, gar nicht erkennen lassen. Sieht man aber diese Zeichnungen durch ein dazu gehöriges Polyederglas an, so vereinigen sich diese einzelnen Theile zu einem ordentlichen Bilde.

Man kann aber Gläser auch so schleifen, daß ihre Oberflächen, wie z. B. die Oberfläche eines Uhrglases, gekrümmt werden. Von diesen sind solche, deren einander entgegenstehende Oberflächen, entweder beide, oder eine derselben, einen Kugelabschnitt bilden, d. h. sphärisch gekrümmt sind, von ganz besonderer Wichtigkeit für den Naturforscher, indem sie ihm ganz unentbehrliche optische Werkzeuge verschaffen. Dergleichen Gläser pflegt man allgemein Linsen oder Lupen zu nennen. Obgleich nun die Gestalt der Linsengläser eine viel größere Mannigfaltigkeit zuläßt, als die Gestalt der gekrümmten Spiegelflächen, so sind doch die Gläser in ihren wesentlichen Eigenschaften darin hauptsächlich von einander verschieden, daß sie theils als Sammelgläser, theils als Zerstreuungsgläser wirken. Jene bringen die durchfahrenden Lichtstrahlen näher zusammen, diese bringen sie weiter auseinander. Alle Sammelgläser sind erhaben oder convex, daher in der Mitte dicker als am Rande; alle Zerstreuungsgläser sind hohl, vertieft oder concav, daher am Rande dicker als in der Mitte.

Digitized by Google

Ist bei einem Sammelglas jede der beiden Flächen, die sich einander gegenüber stehen, erhaben (Fig. 186), so wird es ein doppeltconvexes

Fig. 186.




(biconvexes, converconvexes) genannt. Planconvex heißt es, wenn die eine Fläche erhaben, die andere eben ist (Fig. 187), und concavconvex, wenn die eine Fläche erhaben, die andere hohl ist (Fig. 188), jedoch so, daß die erhabene Fläche eine stärkere Wölbung hat, als die hohle, und das Glas in der Mitte dicker als am

Fig. 187.

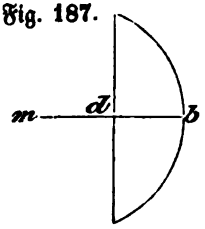
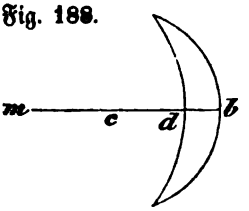


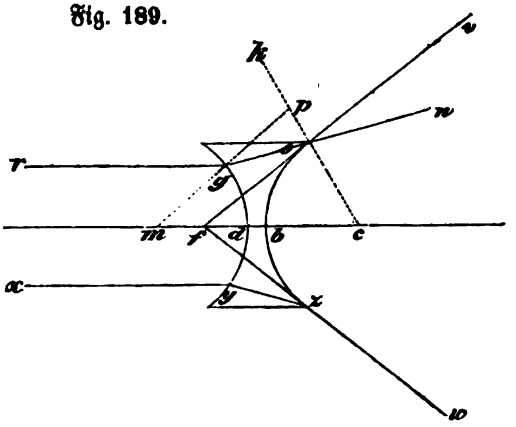

Fig. 188.




Rande ist. Da dergleichen Gläser in ihrem Durchschnitt sichelförmig, wie der Mond, gekrümmt sind, so werden sie auch Menisken oder Mondchen genannt.

Bei den Zerstreuungsgläsern finden dieselben Arten statt; sie heißen doppeltconcav (biconcav, concavconcav), wenn die beiden Flächen, die einander gegenüber stehen, hohl sind (Fig. 189), plancon-

Fig. 189.



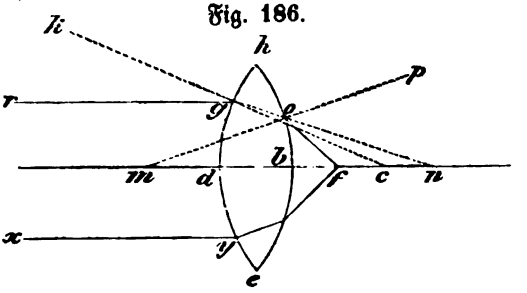

cav, wenn die eine Fläche hohl, die andere eben ist. Ist die eine Fläche hohl, die andere erhaben, jedoch so, daß jene eine stärkere Wölbung hat

Digitized by Google

als diese, und das Glas am Rande dicker als in der Mitte ist, so wird es convexconcav genannt.

Da die Sammelgläser und auch die Zerstreuungsgläser Abschnitte von Kugeln bilden, so nennt man den Halbmesser der Kugeln auch den Halbmesser der gekrümmten Fläche. So ist z. B. dc (Fig. 186) der

Fig. 186.




Halbmesser der Kugel, daher auch der Halbmesser für die krumme Fläche hde; mb ist der Halbmesser der andern Kugel, daher auch der Halbmesser für die krumme Fläche hbe. In der Mitte einer jeden krummen Fläche, z. B. bei b und d (Fig. 186, 187, 188, 189) liegt der optische Mit-

Fig. 187.

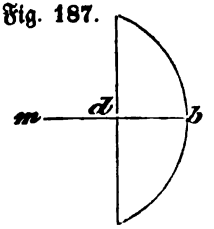



Fig. 189.

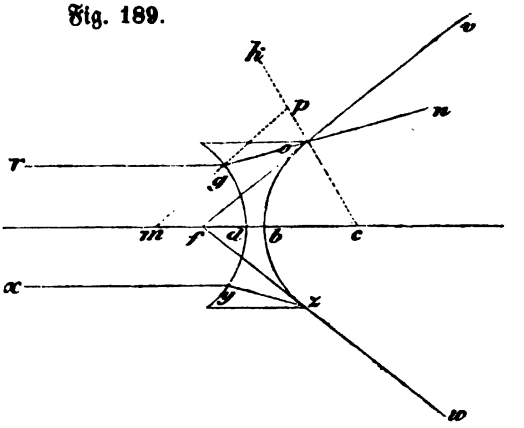
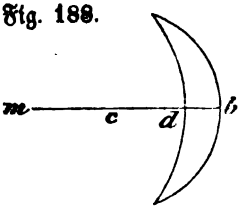



Fig. 188.




telpunkt derselben, deren geometrischer aber liegt in m und c, wo die Mittelpunkte der Kugeln sind. Eine gerade Linie von dem einen geometrischen Mittelpunkt m zu dem andern c, die senkrecht durch die beiden optischen Mittelpunkte d und b geht, heißt die Achse des Glases. Fehlt einem Glase diese Eigenschaft, so ist es unrichtig centrirt, und zu optischem Gebrauche untauglich. Durch eine gleichförmige Dicke seines äußern Umfangs kann man sich zwar einigermaßen davon überzeugen, daß es richtig centrirt sey, allein genauer gibt sich diese Eigenschaft kund, wenn das Glas eine kreisförmige Faffung hat, in welcher es sich umdrehen läßt. Die Gegenstände, die man während der Umdrehung damit betrachtet, dürfen, wenn es richtig centrirt ist, ihre scheinbare Lage gegen einander nicht im geringsten verändern. Die Fläche des Glases, welche

Digitized by Google

nach dem Gegenstand gerichtet ist, den man damit betrachtet, nennt man allemal die Vorderfläche oder Vorderseite, die andere aber, die zunächst am Auge ist, heißt die Hinterfläche oder Hinterseite.

Da nun ein jeder Halbmesser senkrecht auf der Kugelfläche steht, so ist bei jedem sphärischen Glase eben so wie bei jedem sphärischen Spiegel, an jeder Stelle, wo ein Lichtstrahl in das Glas hinein und heraus fährt, der dahin treffende Halbmesser das Einfallsloth für diese Stellen. Zu diesem wird also der Strahl hingelenkt, wenn er aus der atmosphärischen Luft in die Vorderfläche des Glases tritt, und von diesem wird er wieder abgelenkt, wenn er durch die Hinterfläche des Glases wieder heraus in die atmosphärische Luft kommt. Verfährt man demnach sowohl bei dem einfahrenden als ausfahrenden Strahl nach den Regeln des Brechungsverhältnisses (§ 205), so läßt sich hiernach allemal der Weg, entweder durch Zeichnung, oder durch Rechnung finden, den ein jeder Strahl unter beiden Umständen nehmen muß, und so die Erscheinungen bestimmen, die dadurch hervorgebracht werden.

§ 209. (Convexlinsen.) Jeder Strahl, welcher mit der Achse einer Convexlinse parallel geht, vereinigt sich mit derselben, wenn er aus der Hinterfläche herausgetreten ist, in irgend einem Punkte. Ist z. B. in der doppeltconvexen Linse (Fig. 186. S. 440) der Strahl rg parallel mit der Achse mc, so wird dieser Strahl bei g, wo er aus Luft in die Vorderfläche des Glases geht, nach dem Einfallsloth kc hingelenkt, und geht daher, nach den Regeln des Brechungsverhältnisses, etwa nach go fort. Schon allein hierdurch würde er, wenn ihm diese Richtung bliebe, die Achse irgendwo, z. B. in n, schneiden. Da er aber bei o aus der Hinterfläche des Glases herausfährt und wieder in Luft übergeht, so wird er hier von dem Einfallsloth mp abgelenkt, und so der Achse noch näher gebracht, mit der er sich nunmehr, nach der Richtung of fortgehend, in dem Punkte f vereinigen muß. Daß ein anderer Strahl xy, welcher eben so weit als rg von der Achse entfernt und mit ihr parallel geht, ebenfalls in demselben Punkt f sich mit ihr vereinigen muß, versteht sich von selbst. Alle Strahlen, welche sehr nahe bei der Achse auf die convexe Linse kommen, werden daher ziemlich genau in dem Punkt f sich vereinigen. Richtet man nun eine solche Linse gegen die Sonne, so werden die durchgehenden Lichtstrahlen in einen kleinern Raum zusammengedrängt, weßhalb man auch diese Linsen Sammelgläser nennt. Die durchgehenden Sonnenstrahlen lassen sich mit einer weißen Fläche, welche hinter der Hinterfläche des Glases liegt, auffangen, und durch mehrmaliges Hin- und Herrücken läßt sich die Stelle finden, wo die durchgehenden Lichtstrahlen in den kleinen Raum zusammenfallen. Diese Stelle heißt der Brennpunkt, und ihre Entfernung von der Hinterfläche des Glases die Brennweite der Linse. Die Sammelgläser haben daher mit den Hohlspiegeln das gemein, daß sie viele Lichtstrahlen in einem Brennpunkt vereinigen, und dadurch brennbare Körper, die in diesem Punkte liegen, in Brand setzen können. Aus diesem Grunde werden sie auch Brenngläser genannt. Je weiter ein Strahl, der mit der Achse parallel auf ein Brennglas fällt, von dieser absteht, desto näher nach der Hinterfläche des Glases zu muß auch der Punkt fallen, in welchem er sich mit ihr vereinigt, und eben darum hat ein Brennglas keinen eigentlichen Brennpunkt, sondern, wie ein sphärischer Brennspiegel, einen Brennraum, der längs der Achse eine gewisse Länge hat. Dieser Umstand ist aber von desto geringerm Nachtheil auf die Brennkraft, je

Digitized by Google

breiter das Glas ist, und je weniger Grade die gekrümmten Flächen fassen. Auch sind die Wirkungen eines Brennglases von den Wirkungen eines Brennspiegels in nichts verschieden. Von ausnehmend großer Wirkung waren die großen Brenngläser von 3 Fuß Durchmesser und 12 Fuß Brennweite, die von Tschirnhausen verfertigte, und noch größer ist die Wirksamkeit, wenn sie aus zwei Gläsern zusammengesetzt werden, die wie Uhrgläser gekrümmt sind, und deren innerer Raum mit Wasser ausgefüllt ist. Mit einem solchen Glase kann man die strengflüssigsten Steine und Metalle verglasen und schmelzen, den Diamant völlig verbrennen und in kohlensaures Gas auflösen.

Hat die Vorderfläche einer doppeltconvexen Linse mit der Hinterfläche derselben einerlei Convexität, so ist die Brennweite beinahe dem Halbmesser gleich. Beinahe um den Durchmesser ist die Brennweite vom Glase entfernt, wenn es ein planconvexes ist, und noch größer ist die Entfernung für einen Meniskus.

Daraus, daß die Strahlen, welche mit der Achse parallel auffallen, mit ihr im Brennpunkt sich vereinigen, folgt umgekehrt, daß jeder Strahl, welcher von dem Brennpunkt f (Fig. 186. S. 439) einer Convexlinse herkommt, beim Ausgang aus der Hinterfläche mit der Achse parallel werden muß. Diesem gemäß lassen sich zwischen den Eigenschaften der Convexlinsen und jenen der Hohlspiegel eine Menge von Aehnlichkeiten auffinden, und so, wie dort, vermittelst einer Lichtflamme in einem verfinsterten Zimmer beobachten. Steht diese zwischen dem Brennpunkt und der Vorderfläche des Glases, so sieht man sie durch die Hinterfläche aufrecht, vergrößert und entfernter. Je mehr sie vom Glas entfernt wird, desto mehr nimmt ihre Größe zu, und mit ihr scheint auch die Entfernung zu wachsen. Kommt sie in den Brennpunkt selbst zu stehen, so verliert sich das deutliche Bild derselben, und man sieht nur ein Gemisch von Strahlen, einen glänzenden Lichtschein. Steht aber die Lichtflamme über den Brennpunkt hinaus, so entsteht ein Luftbild in verkehrter Stellung, und ist um desto kleiner, je weiter das Licht vom Glase wegrückt. Alle diese Erscheinungen lassen sich durch Zeichnungen leicht darstellen, wenn man, wie bei dem Hohlspiegel gezeigt worden ist, von einem Gegenstand, der vor der Linse sich befindet, aus den beiden Endpunkten einen senkrechten Strahl (einen Halbmesser) zieht, der ungebrochen durchgeht, und eben so einen schiefen Strahl, dessen Brechung man nach dem Brechungsverhältniß bestimmen kann (Fig. 186. S. 439).

§ 210. (Concavlinsen.) Wie die Convexlinsen mit dem Hohlspiegel, so haben die Concavlinsen mit dem erhabenen Spiegel große Aehnlichkeit in den Erscheinungen. Jeder Strahl, welcher mit der Achse einer Concavlinse parallel geht, entfernt sich von derselben, wenn er aus der Hinterfläche herausgetreten ist, und muß rückwärts verlängert werden, wenn man den Punkt finden will, wo er sich mit ihr vereinigen könnte. Ist z. B. in der doppeltconcaven Linse (Fig. 189. S. 439) der Strahl rg parallel mit dem Achsenstrahl mc, so wird er bei g zum Einfallsloth mp gebrochen, und geht etwa nach go fort. Schon dadurch entfernt er sich demnach von der Achse nach n hin. Weil er aber bei o abermals und zwar vom Einfallsloth ck weggebrochen wird, so geht er in der Richtung ov fort, und entfernt sich also noch mehr von der Achse. Wird aber ov rückwärts verlängert, so schneidet sie die Achse in irgend einem Punkt f, der vor dem Glase liegt. Aus diesem Punkt f scheint demnach der Strahl ov herzukommen. Daß dieses auch von einem andern Strahl xy, der eben

Digitized by Google

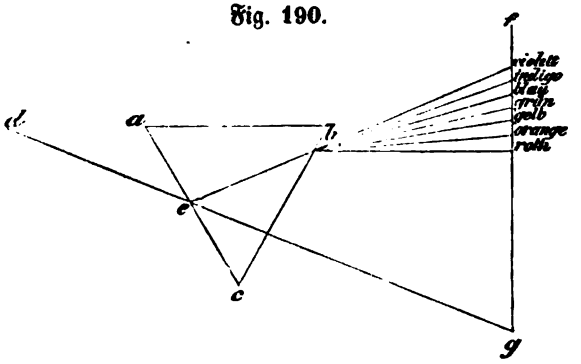
so weit wie rg von der Achse auf die Linse kommt, gelten müsse, versteht sich von selbst. Nach der zweiten Brechung geht dieser etwa in der Richtung zw fort, die, rückwärts verlängert, die Achse ebenfalls in f schneidet. Alle Strahlen, die nahe bei der Achse auf eine Concavlinse fallen, werden demnach so gebrochen, daß sie rückwärts verlängert in demselben Punkt f sich vereinigen, und aus diesem auszugehen scheinen. Richtet man eine solche Linse gegen die Sonne, so werden auch die Sonnenstrahlen, die aus dem Punkt f herzukommen scheinen, durch das Glas gehend zerstreut und auseinanderfahrend, weßhalb man auch diese Linsen Zerstreuungsgläser nennt. Den Punkt f nennt man den Zerstreuungspunkt oder negativen Brennpunkt, und seinen Abstand von der Vorderfläche des Glases nennt man die Zerstreuungsweite oder negative Brennweite.

Bei einer Concavlinse tritt also nie der Fall ein, daß ein Luftbild entsteht; sie verkleinert nur den Gegenstand, und zwar um so mehr, je stärker sie gekrümmt ist, und je weiter sie von dem Gegenstand wegrückt. Alles dieses läßt sich leicht durch Zeichnung darstellen, wenn man wie bei dem erhabenen Spiegel verfährt und das Brechungsverhältniß vor Augen hat. Zu bemerken ist dabei, daß bei einer doppeltconcaven Linse, deren brechende Flächen einerlei Halbmesser haben, die negative Brennweite dem Halbmesser fast gleich ist; bei einer planconcaven aber ist sie dem Durchmesser gleich, wenn die concave Fläche die Vorderfläche ist, und etwas kleiner ist sie, wenn die ebene Fläche die Vorderfläche bildet. Noch größer als der Durchmesser wird die negative Brennweite bei einer convexconcaven Linse. Ist aber bei einer solchen Linse die Convexität mit der Concavität von einerlei Halbmesser, etwa wie bei einem Uhrglas, so geschieht die Brechung wie in einem ebenen Glase. Dergleichen Gläser sind also eigentlich gar nicht als Linsen zu betrachten.

§ 211. (Farben.) Eine der lieblichsten, zugleich aber auch schwer zu erklärenden Erscheinungen, welche mit der Brechung des Lichts in Verbindung steht, ist die Trennung des weißen Sonnenlichts in verschiedene Farben. Diese auffallende Erscheinung, welche man die Farbenzerstreuung (Dispersion) nennt, besteht eigentlich darin, daß ein Lichtstrahl nach seiner Brechung in eine kleine fächerförmige Fläche von verschiedenen Farben sich ausbreitet. Newton's großer Geist, der durch die ganze Naturlehre weht, hat auch hier wieder die Bahn gebrochen, welche zu den Gesetzen dieser merkwürdigen Erscheinung hinleitet, und denen folgender Versuch zu Grunde liegt. Wenn man (Fig. 190) Sonnenstrahlen durch eine enge Oeffnung d von etwa drei bis vier Linien im Durchmesser in ein finsteres Zimmer fallen läßt, so entsteht auf einer Wand fg, welche der Oeffnung gegenüber liegt, bei dem ungebrochenen Durchgang der Strahlen, etwa bei g, ein kreisrunder stark schimmernder weißer Fleck. Läßt man aber einen Sonnenstrahl de, ehe er die Wand erreicht, erst durch ein dreiseitiges Prisma, dessen Durchschnitt das Dreieck abc vorstellt, hindurchgehen, so kann der Sonnenstrahl nicht mehr in der Richtung dg gehen, sondern muß, wie man nach den Brechungsgesetzen leicht finden kann, weiter nach f zu fallen. Hiermit ist aber die sehr merkwürdige Erscheinung verbunden, daß der Strahl, welcher aus dem Prisma wieder heraus in die Luft tritt, in sieben Strahlen von sieben verschiedenen Farben zertheilt worden ist. Diese Farben, die sich an der gegenüberstehenden Wand darstellen, folgen in einer gewissen Ordnung aufeinander, die von der Lage des Winkels acb abhängt, d. h. des Winkels, der von

Digitized by Google

Fig. 190.




den beiden brechenden Flächen des Prisma eingeschlossen wird, und den man den brechenden Winkel nennt. Ist dieser Winkel nach unten gerichtet, so liegen die sieben Farben, die man das Farbenbild oder Spectrum nennt, in folgender Ordnung von oben nach unten: violett, dunkelblau (indigo), hellblau, grün, hellgelb, dunkelgelb (orange), roth. Ist aber dieser Winkel nach oben gerichtet, so zeigen sich die Farben in umgekehrter Ordnung so, daß von oben nach unten die rothe Farbe den Anfang macht und die violette die unterste Stelle einnimmt. Mit diesem Versuche ist zugleich auch noch der merkwürdige Umstand verbunden, daß der Raum, den das Farbenbild auf der Wand einnimmt, nicht in sieben gleiche Theile abgetheilt erscheint, so, daß jede Farbe einen gleich großen Raum erfüllte, sondern so, daß die violette $^2/_9$, die indigo $^1/_9$, die hellblaue $^1/_6$, die grüne $^1/_6$, die hellgelbe $^2/_{15}$, die orange $^3/_{40}$ und die rothe $^1/_8$ des ganzen Farbenbildes ausfüllt. Theilt man demnach das ganze Farbenbild in 360 gleiche Theile, so kommen 80 dieser Theile auf das Violette; auf Indigo 40; auf das Hellblaue 60; Grüne 60; Hellgelbe 48; Orange 27; Rothe 45. Die Farben gehen indeß in so feinen Abstufungen in einander über, daß die verhältnißmäßige Bestimmung des Raums, den eine jede Farbe einnimmt, nicht in aller Schärfe richtig ist, und daß vielmehr vom Violetten bis zum Rothen ein mannigfaltiges unendlich großes Farbenspiel stattfindet, von welchem sich die sieben angegebenen Farben nur am deutlichsten auszeichnen. Auch ist das Rothe im Bilde kein eigentliches Purpur oder Rosenroth, sondern etwas in's Gelbe spielend. Am deutlichsten sieht man das ganze Farbenbild, wenn das Prisma in der gehörigen Entfernung von der Wand absteht, und diese beträgt für die Wahrnehmung des Raumverhältnisses nach der obigen Angabe etwa 12 bis 14 Fuß, wenn das Prisma aus gewöhnlichem Spiegelglase besteht. Je näher das Prisma der Wand rückt, desto enger wird darauf der Raum, den das Farbenbild einnimmt, die einzelnen Farben können sich dann nicht gehörig ausbreiten, fallen aufeinander, und es bleibt nur ein weißer Fleck sichtbar, der von der einen Seite eine violette, von der andern eine gelbrothe Begränzung hat. Wächst die Entfernung noch mehr, so hebt das Farbenbild sich auch stärker heraus, aber das Raumverhältniß der einzelnen Farben ändert sich ebenfalls ab. Violett, Grün und Roth nehmen an Ausbreitung zu, Blau und Gelb dagegen ab.

Läßt man das Farbenbild, ehe es die Wand trifft, erst noch durch eine Convexlinse gehen, so zeigt sich auf der Wand, wenn sie im Brenn-

Digitized by Google

punkt der Linse steht, wieder das weiße Sonnenlicht, das sich aber wieder im Farbenbild darstellt, wenn die Wand von dem Brennpunkt entfernt wird. Weil aber die Strahlen im Brennpunkt der Linse sich durchkreuzen, so zeigt sich auch das Farbenbild in umgekehrter Ordnung. Läßt man aber das Farbenbild, statt durch eine Converlinse, durch ein zweites Prisma gehen, das aus demselben Glase besteht, und denselben brechenden Winkel hat, das aber so aufgestellt wird, daß der brechende Winkel desselben gegen den des ersten Prisma eine verkehrte Lage erhält, so sieht man leicht ein, daß nunmehr jeder gefärbte Lichtstrahl durch das zweite Prisma eben so stark aufwärts gebrochen wird, als er im ersten abwärts gebrochen worden ist, und daß er folglich wieder in seine ursprüngliche Lage, die er vor der ersten Brechung gehabt hat, zurückkehren muß. Hierdurch wird aber die ganze Farbenzerstreuung wieder aufgehoben, und das Farbenbild wieder auf einen weißen Fleck zurückgeführt.

Aus diesen Versuchen leitete Newton den Schluß ab, daß das weiße Sonnenlicht aus sieben Ur- oder Hauptfarben bestehe, und daß umgekehrt durch die Vermischung aller prismatischen Farben das weiße Licht entstehe. Eigentlich sind es aber nur sechs Urfarben, da Dunkel- und Hellblau nur eine Farbe in einer geringen Abstufung bilden.

Um jeden einzelnen farbigen Strahl des Farbenbildes für sich allein zu untersuchen, fand Newton Mittel, ihn dadurch zu isoliren, daß er ihn durch eine sehr kleine Oeffnung, die in der Wand angebracht war, hindurch gehen ließ, die andern aber aufgehalten wurden. Fing er diesen Strahl mit einem zweiten Prisma auf, so wurde er zwar abermals gebrochen, behielt aber seine eigenthümliche Farbe bei, und ließ sich daher nicht weiter zerlegen, z. B. violett nicht in roth und blau, grün nicht in blau und gelb u. s. w. Hierdurch konnte Newton die Brechbarkeit einer jeden Farbe, die, wie die Gestalt des Farbenbilds schon zeigte, für jeden farbigen Strahl anders seyn mußte, näher untersuchen und fester bestimmen, und so fand er, daß der violette Strahl am stärksten, der rothe am wenigsten gebrochen wurde, und daß überhaupt jeder farbige Strahl seine eigne Brechbarkeit habe, was in neuerer Zeit durch viele Versuche berühmter Physiker, namentlich durch Fraunhofer, noch vollkommner bestimmt wurde. Nach neuern Versuchen sind auch die einzelnen Farben des Spectrums in Hinsicht der Wärme und der chemischen Wirkung verschieden. Die stärkste Wärme hat roth, die stärkste chemische Wirkung, namentlich auf jodirte Silberplatten, hat violett.

Fraunhofer bediente sich zu Beobachtungen des Farbenbildes Prisma's theils aus Flintglas, theils aus Kronglas (§ 204), und fand, daß die rothen und die violetten Strahlen in jenem stärker als in diesem gebrochen werden, und daß auch die Zerstreuungswinkel dieser Strahlen in jenem größer als in diesem Prisma sind.

Daß die weiße Farbe in der That aus den Urfarben zusammengesetzt sey, läßt sich auch noch dadurch bestätigen, daß man eine kreisrunde Scheibe von Holz oder Pappdeckel durch Halbmesser in sieben Ausschnitte theilt, deren Größe nach dem angegebenen Verhältniß des Raums, den eine jede Farbe im Farbenbild einnimmt, bestimmt wird, so daß der eine Bogen $^2/_9$, der andere $^1/_9$ u. s. w. der ganzen Peripherie enthält. In jeden Ausschnitt trägt man die dazu gehörige Farbe auf, und sorgt dafür, daß die Scheibe nach Art eines Kreisels um einen senkrechten durchgesteckten Stift sehr schnell umgedreht werden kann. Eine solche Scheibe

Digitized by Google

nennt man eine Farbenspindel. Wird sie wirklich sehr schnell umgedreht, und sind alle Farbentöne gleich stark aufgetragen, so fließen die Farben, durch die schnelle Umdrehung so ineinander, daß die ganze Spindel weiß erscheint.

Dieselben Erscheinungen, welche ein gläsernes Prisma zeigt, kommen auch bei einem weißen gläsernen Kegel zum Vorschein, wenn dessen Spitze nach den einfallenden Strahlen gerichtet ist, nur daß hier das Farbenbild in aus ineinander liegenden farbigen Ringen besteht. Auch bei Gläsern, welche nach einer andern Form geschliffen, und deren brechende Flächen nicht parallel sind, zeigt sich eine Farbenzerstreuung, z. B. in den geschliffenen Gläsern der Kronleuchter, in den Glaslinsen u. s. w. Aber nicht nur gläserne Körper, auch durchsichtige Körper aus anderer Materie zertheilen das weiße Licht, welches durch sie hindurch geht, und gebrochen wird, in Farben, wie man unter andern an dem Diamanten und andern geschliffenen Steinen, an Seifenblasen, an Thautropfen u. s. w. wahrnehmen kann. Auf diese Weise entsteht auch die bekannte Erscheinung des Regenbogens, die, wenn sie sich Morgens zuträgt, in Westen, Abends aber in Osten wahrgenommen werden muß, und für uns nie in Süden und Norden sich zeigen kann. Diese Erscheinung kann sich nämlich nur dann zutragen, wenn die Sonne einer dunkeln Regenwolke gegenüber steht. Regnet es nun aus dieser Wolke, so werden die Sonnenstrahlen, welche auf die Regentropfen fallen, darin gebrochen, von der dunkeln Regenwand zurückgeworfen, bei'm Austritt aus den Tropfen abermals gebrochen und in Farben zerstreut. Eine ähnliche Erscheinung hat man bei einem Wasserfall und Springbrunnen, wenn man die fallenden Tropfen vor sich, die Sonne hinter sich hat.

Für sich allein reicht jedoch die angegebene Bedingung noch nicht hin, einen Regenbogen zu erzeugen. Zur Entstehung dieses Meteors sind vielmehr noch allerlei andere Umstände erforderlich, namentlich auch diese, daß eine gerade Linie, die man von der Sonne nach dem Scheitelpunkt des Beobachters zieht, in ihrer Verlängerung den Mittelpunkt des Bogens treffen müsse, und daß die Sonne nicht über 42 Grad über den Horizont erhöht sey. Bei sehr vollständiger Erscheinung zeigen sich zwei Regenbogen, ein innerer, den man den Hauptregenbogen nennt, bei welchem die äußere Zone roth, die innere violett ist, und ein äußerer Regenbogen, der Nebenregenbogen heißt, mit viel mattern Farben, deren Zonen eine umgekehrte Lage haben. Hat die Regenwand nur eine sehr geringe Breite, so werden auch nur einzelne kleinere Stücke des Regenbogens sichtbar, die man Regengallen zu nennen pflegt. Zuweilen, aber freilich viel seltener, zeigen sich auch Mondregenbogen, doch sind sie, wegen der Schwäche des Mondlichts, in der Regel von wenig zu unterscheidenden Farben.

Außer der Sonne zeigen auch viele andere leuchtende Körper ein farbiges Licht. So brennt z. B. Weingeist mit Kupfersalz gemischt mit grünlicher, mit Strontiansalz gemischt mit röthlicher Flamme. Mischt man ihn mit Küchensalz oder Kampfer, so gibt er, wenn er brennt, den Gesichtern der Anwesenden eine todtenbleiche Farbe. Das Licht, welches aus solchen Körpern sich entbindet, wird also schon in der Entstehung in Farben zerlegt, wobei nur die Farben sichtbar bleiben, die von dem Körper nicht verschluckt werden.

§ 212. (Bleibende Farben.) Von den dunkeln undurchsichtigen Körpern,

Digitized by Google

erscheinen manche im Sonnenlichte weiß, und werfen demnach alles Licht, was auf sie fällt, unverändert zurück, andere hingegen erscheinen farbig, und werfen daher nur diese oder jene Farbe zurück, verschlucken dagegen die andern. Einige Körper *schillern* (changiren), d. h. sie werfen bald diese, bald jene Farbe zurück, je nachdem man sie in dieser oder jener Richtung betrachtet, wie z. B. die Perlenmutter. Wird aber alles Licht, was auf einen Körper fällt, von dem Körper auch verschluckt und gar nicht zurückgeworfen, so nennt man ihn *schwarz*. Ein solcher Körper ist daher nur durch seine weißen und farbigen Umgebungen sichtbar. Indessen ist wohl kein Körper ganz vollkommen schwarz. Manche durchsichtige Körper erscheinen schwarz, wenn sie auf anderen undurchsichtigen Körpern liegen, und daher das Licht reflectiren, während sie diese oder jene Farbe zeigen, wenn sie gegen das Licht gehalten werden, dieses also refractiren, z. B. farbige Gläser. Alle Gegenstände aber, welche durch ein gläsernes Prisma betrachtet werden, erscheinen nicht nur an einem andern Orte, als sie wirklich sind, sondern auch durchgehends mit farbigen Säumen und Rändern umgeben.

Alle diese mannigfaltigen Erscheinungen zu erklären, hat ungemeine Schwierigkeiten. Nach dem Undulationssystem bringen die verschiedenen Geschwindigkeiten der Aetherschwingungen diejenigen Empfindungen im Auge hervor, die wir *Farbe* nennen, indem die Lichtwellen für jede der prismatischen Farben eine verschiedene Länge haben, so daß die kürzesten die Empfindung von violett, die längsten die von roth erregen. Eine gemischte Empfindung, d. h. eine *Mittelfarbe*, wird aber dadurch erregt, daß mehrere Lichtwellen, deren Schwingungen ungleiche Geschwindigkeiten haben, gleichzeitig auf das Auge wirken, so wie das Zusammentreffen aller Lichtwellen die Empfindung von weiß erzeugen. *Newton*, der eine große Menge von Versuchen und Beobachtungen über diesen interessanten Gegenstand anstellte, folgerte daraus, daß das weiße Licht, welches an und für sich aus verschiedenen Farben, von verschiedener Brechbarkeit bestehe, eine verschiedene Verwandtschaft zu den Körpern habe, auf welche es auffällt, und durch welche es zum Auge gelangt. Hat ein Körper zu allen Lichtfarben Verwandtschaft, so saugt er sie alle ein, und erscheint schwarz, hat er dagegen zu gar keiner Farbe Verwandtschaft, so wirft er sie alle zurück, und erscheint weiß. Hat er zu allen Strahlen Verwandtschaft, nur zu einem nicht, so verschluckt er sie alle bis auf diesen einen, in dessen Farbe er sich dann zeigt, und so erscheint er auch mehrfarbig, wenn er zu einigen Strahlen keine Verwandtschaft hat. Da unter den prismatischen Farben die blauen Strahlen am leichtesten gebrochen und zurückgeworfen werden, so liegt hierin ein Grund der Himmelsbläue. Die von der Erde zurückgeworfenen Sonnenstrahlen gehen durch die Atmosphäre zurück, und diese reflectirt dann nur die blauen, während sie die übrigen Strahlen durchgehen läßt. Je reiner und dunstfreier die Luft ist, desto mehr blaues Licht wirft sie zurück, desto intensiver wird die blaue Farbe des Himmels, wie dieses auch auf hohen Bergen sich zeigt. Ist dagegen die Luft mit wässerigen Dünsten überladen, so werfen diese die Lichtstrahlen mehr unzerlegt zurück, wodurch der Himmel einen weißen milchichten Anstrich bekommt. Bei strenger Winterkälte, wo die in der Luft schwebenden Dünste verdichtet und niedergeschlagen werden, und an heißen Sommertagen, wo diese Dünste aufgelöst werden, erscheint auch der Himmel in tieferm Blau. Nach dem Horizont hin ist aber die Bläue

Digitized by Google

immer matter als gerade über uns, weil der Blick in die Ferne durch einen zu großen Dunstkreis schwebt, dessen zurückgeworfenen Strahlen die blauen mehr oder weniger verwaschen. Aendert sich die Oberfläche eines Körpers, so ändert sich auch dessen Farbe, weil er mit dieser Aenderung Farben verschluckt, die er vorher zurückgeworfen, und Farben zurückwirft, die er vorher verschluckt hat. Dieses ist u. A. auch der Fall bei der Morgen- und Abendröthe, wo die reine Atmosphäre von den sehr schiefen Lichtstrahlen, die zu unserm Auge gelangen, nur die rothen reflectirt, und die allemal um so prachtvoller ist, je ein tieferes Blau der Himmel hat, während am Horizont einige Wolken stehen. Aendert sich die materielle Beschaffenheit eines Körpers, so ändert sich hierdurch auch seine Verwandtschaft zum Licht ab, und der Körper nimmt dann eine andere Farbe an. Daher kann man durch Mischungen allerlei Farben hervorbringen. Auch fand Newton, daß jeder durchsichtige Körper, selbst die atmosphärische Luft, in dünnen Schichten eine Farbenzerstreuung bewirke, und daß eine bestimmte Ordnung von Farben von der Dünne dieser Schichten abhänge. So erscheint Glas und jeder andere durchsichtige weiße Körper, wenn er fein gepülvert wird, weiß, weil in den kleinen feinen Theilchen Licht von allen Farben abgesondert wird, und diese dann in der Vermischung weiß erscheinen. Daß sehr viele ausgezeichnete Naturforscher gegen diese Erklärungen mancherlei zu erinnern hatten, und auf allerlei Weise zu berichtigen suchten, liegt in der Natur der verwickelten Untersuchung selbst. Um so mehr ist es zu verwundern, daß Goethe, der in seiner Farbenlehre, in welcher sich mancher schöne Versuch findet, als Newton's Gegner auftritt, nicht mit ruhigerer Haltung und größerer Bestimmtheit der Begriffe, durch welche allein seine neue Theorie vor dem gründlichen Physiker bestehen könnte, zu Werke gegangen ist.

§ 213. (Complementärfarben.) Da aus roth, gelb und blau in verschiedenen Mischungsverhältnissen alle anderen Farben nach jeder möglichen Abstufung entstehen, so hat man diese drei prismatischen Farben primäre Farben genannt; orange, grün und violett nennt man dagegen secundäre Farben, weil sie aus Mischungen von jenen entstehen, orange aus roth und gelb, grün aus blau und gelb, violett aus roth und blau. Der Mischung von Farbestoffen, somit auch der Entstehung von Mittelfarben, liegen ähnliche Regeln zu Grunde; so ist z. B. grau ein geschwächtes weiß, braun ein dunkleres gelb u. s. w. Da aber unsere Farbemittel keine so reine Farbe geben, als die Sonnenstrahlen, so muß man, um diese oder jene Farbe aus den Mischungen der primären Farben zu erzeugen, noch mit mancherlei andern Verfahrungsweisen bekannt seyn.

So wie aber weiß entsteht, wenn alle Farben zurückgeworfen werden, so entsteht dagegen orange, wenn der blaue: grün, wenn der rothe: gelb, wenn der violette Strahl unter den zurückgeworfenen prismatischen Farben fehlt. Die zum Weiß fehlende Farbe pflegt man die Ergänzungsfarbe oder Complementärfarbe der sich zeugenden Farbe zu nennen. So ist demnach blau die Ergänzungsfarbe von orange, welches roth und gelb enthält, und orange die Ergänzungsfarbe von blau, roth von grün und grün von roth, violett von gelb, und gelb von violett. Aus dieser Ursache erblickt man eine weiße Wand voll violetter Flecken, wenn man vorher etwas anhaltend in die gelbliche Sonne gesehen hat, wogegen man eine solche Wand orange oder grün gefleckt sieht, wenn man vorher

Digitized by Google

in ein blaues oder rothes Licht gesehen hat. Auch hat man die Bemerkung gemacht, daß der Anblick zweier Complementärfarben dem Auge angenehmer sey, als der Anblick derer, die nicht complementär sind.

§ 214. (Physiologische Farben.) Eine Farbenerscheinung, die jedes gesunde Auge gleichmäßig sieht, nennt man eine objective Farbenerscheinung; sie wird aber eine subjective oder physiologische genannt, wenn die sich zeugenden Farben, so wie der Ort, wo sie gesehen werden, von Umständen abhängen, die zwar auch aus bestimmten Gesetzen hervorgehen, an sich aber immer nur zufällig sind. Außer der vorhin angeführten Wirkung der Ergänzungsfarben, gehören hierher alle Farbenerscheinungen, die durch einen größern oder geringern Reiz der Netzhaut gesehen werden, wie dieses auch schon der Fall ist, wenn ein Augenreiz durch einen Druck auf die Augen entsteht. Betrachtet man eine senkrechte weiße Linie durch ein horizontal liegendes Prisma, so bedecken sich die Farbenbilder, und das Auge sieht nur die rothen Strahlen des obersten und die blauen des untersten Punktes unvermischt, in der Mitte aber eine Mischung aller farbigen Strahlen. Eine weiße Fläche auf sehr schwarzem Grunde erscheint in der Mitte weiß, an den Rändern, besonders wenn man sehr scharf und anhaltend darauf sieht, scheint sie gefärbt, oben roth und gelb, unten blau und violett. Eine schwarze Fläche auf weißem Grunde erscheint oben blau, unten roth. Legt man eine Fläche, z. B. ein seidenes Band, das eine reine, lebhafte Farbe hat, auf ein recht weißes Papier, und beide in glänzendes Sonnenlicht, so erblickt man auf dem Papier allemal die Ergänzungsfarbe der Fläche, wenn man das Auge stark und unverwandt darauf gerichtet hat. Weiß auf weiß aber, wo keine Ergänzungsfarbe hervortreten kann, muß wieder weiß erscheinen.

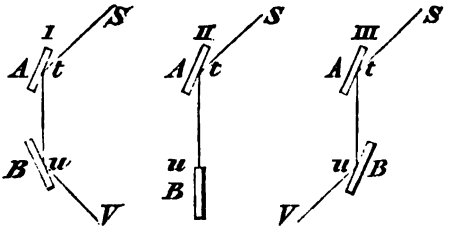
Diese subjectiven Farben sind es auch, die man in den farbigen Schatten wahrnimmt, und die dadurch entstehen, daß der Schattenraum, der durch ein einfallendes Licht entsteht, von einem andern Licht, das von einer andern Richtung herkommt, in einem gewissen Grade wieder etwas erhellt wird. Auch hier sieht man wieder das Spiel der Ergänzungsfarben. Wird z. B. der eine Schatten, durch ein vor ein Licht gehaltenes rothes Glas, roth, so zeigt er sich grün, wenn ein anderes schwächeres Licht ihn in etwas erhellt. Wenn Tageslicht, Dämmerungs- oder Mondlicht mit einem Kerzen- oder Lampenlicht zugleich eine Fläche erleuchtet, so zeigt sich der von dem Himmelslicht erhellte Schatten blau oder violett, und der vom Kerzenlicht erhellte orange oder gelb.

§ 215. (Polarisation des Lichts.) Malus, ein französischer Physiker, hat 1808 zuerst die Entdeckung gemacht, daß ein Lichtstrahl, welcher unter einem Winkel von 35 Grad und 25 Minuten auf eine unbelegte, oder auf der Rückseite geschwärzte Glastafel fällt, zum Theil nach den bekannten katoptrischen Gesetzen zurückgeworfen wird. Läßt man den zurückgeworfenen Strahl auf eine zweite Glastafel fallen, welche mit der ersten eine parallele Lage hat, so fällt er auch hier unter demselben Winkel auf, und wird eben so zurückgeworfen. Wird aber die zweite Tafel so gedreht, daß die Zurückstrahlungsebenen der beiden Tafeln sich unter einem rechten Winkel schneiden, während die Neigung des Lichtstrahls unverändert bleibt, so findet die merkwürdige Erscheinung statt, daß in diesem Fall gar keine Reflexion durch die zweite Tafel erfolgt. (Fig. 191. I.) sey A eine Glastafel, welche von einem Lichtstrahl st unter einem Winkel von 35° 25′ getroffen, und nach tu reflectirt wird. Ist bei u eine zweite



Digitized by Google

Fig. 191.



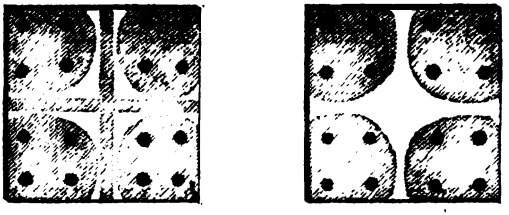

Tafel B mit A parallel, so reflectirt sie den aufgefangenen Strahl nach uv. Bekommt aber die Tafel B bei u die Lage tu (Fig. 191. II.), so wird die Reflexion uv Null. Gibt man aber der Tafel B die Lage (Fig. 191. III.), so wird tu wieder reflectirt nach der Richtung uv; die Reflexion uv wird dagegen abermals Null, wenn die Tafel B nach s zu rückt. Zeichnet man auf ein Blatt Papier einen schwarzen Punkt, und legt ein Kalkspathrhomboeder, das eine doppelte Strahlenbrechung bewirkt (§ 206), darüber, so sieht man den Punkt doppelt; legt man ein zweites solches Rhomboeder über das erste, so daß die Hauptschnitte derselben, d. h. die Schnitte, durch welche die stumpfen Winkel der Seitenflächen halbirt werden, parallel zu liegen kommen, so sieht man abermals den Punkt doppelt, nur daß jetzt die beiden Bilder des Punktes etwas weiter auseinanderliegend erscheinen. Wird aber das obere Rhomboeder so gedreht, daß die Hauptschnitte aus der parallelen Lage kommen, so erscheinen, wenn die Umdrehung den achten Theil einer ganzen Umdrehung, d. i. 45 Grad, beträgt, statt zwei Punkte, deren vier. Noch ein Achtel Umdrehung weiter, wo also die Hauptschnitte der Rhomboeder sich unter einem rechten Winkel schneiden, so verschwinden die anfänglichen zwei Bilder ganz. Setzt man die Umdrehung fort, so kommen allemal bei jedem Achtel Umdrehung vier, bei jedem Viertel Umdrehung aber nur zwei Bilder zum Vorschein. Diese Erscheinung, nach welcher, unter den angegebenen Umständen, bei den Glastafeln eine Abweichung von den gewöhnlichen Gesetzen der Zurückwerfung, und bei den Kalkspathrhomboedern, so wie bei noch andern krystallisirten Körpern, insofern sie nicht zu den regulären (tesseralen) gehören, eine Abweichung von den gewöhnlichen Gesetzen der Brechung des Lichts statt hat, nennt man die Polarisation des Lichts, und ein Lichtstrahl, welcher eine solche Abweichung erlitten hat, wird ein polarisirter Strahl genannt. Der Winkel, unter welchem Lichtstrahlen polarisirt werden, heißt der Polarisationswinkel, und für jede spiegelnde und brechende Fläche ändert sich seine Größe ab. So ist er z. B. für Glas 35,4, für Wasser 37,3, für Diamant 22, für Schwerspath 32 Grad u. s. w. Zu Versuchen über die Polarisation sowohl bei der Reflexion, als Refraction des Lichts haben Biot, Baumgärtner, Airy u. A. eigene Geräthschaften erfunden. Die Haupttheile eines solchen Apparats bestehen aus einer Röhre, welche an beiden Enden mit Ansätzen, die sich drehen lassen, versehen sind. An jedem Ansatze sind Ringe, welche unter jeden beliebigen Winkel sich stellen lassen, und an welchen man Glastafeln oder Spiegel anbringen kann. Auch die Röhre läßt sich unter verschiedene Winkel stellen, und durch angebrachte Kreise können diese Winkel und die Umdrehungen gemessen werden.

Aus den Versuchen, welche Biot, Arago, Fresnel, Seebeck, Brewster u. A. mit dergleichen Polarisationsinstrumenten angestellt haben, ergaben sich die Bedingungen, unter welchen gewisse Krystallarten

Digitized by Google

und andere Körper das Licht polarisiren. Auch hat man wahrgenommen, daß das polarisirte Licht wieder depolarisirt, d. h. wieder auf die Eigenschaften des gemeinen Lichts zurückgebracht werden kann, und daß das polarisirte Licht nicht nur ähnliche prismatische Farben gibt, wie das gemeine Licht, sondern auch noch von Farbenerscheinungen begleitet ist, die in eigenthümlicher Lage zum Vorschein kommen, und die zugleich ein besonderes Interesse haben. Bedient man sich z. B. zu den Versuchen über die Farbenzerstreuung des gemeinen Lichts eines Prisma von geschliffenem Kalkspath, so erhält man, wegen der doppelten Brechung, zwei vollständige prismatische Farbenbilder. Bringt man an das Polarisationsinstrument ein nicht gar zu dünnes Glimmer- oder Gypsspathplättchen an, und läßt das polarisirte Licht auf eine Glasplatte fallen, von welcher es reflectirt wird, so zeigt sich sowohl das Licht, das durch das Plättchen geht, als auch das vom Glase reflectirte Licht, gefärbt, wobei die Farbe des reflectirten Lichts die Ergänzungsfarbe des durch das Plättchen hindurch gegangnen Lichts ist, erscheinen aber weiß, wenn das Instrument so gedreht wird, daß beide Strahlen sich decken. Wenn man auf eine ebene Glasplatte eine Linse legt, die nur sehr wenig convex ist, sie dann in einem Lichte betrachtet, das mit dem darauf fallenden Lichte von gleicher Art ist, so zeigen sich um den Berührungspunkt Ringe, welche die Farbe des auffallenden Lichts haben, jedoch durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt, und immer desto größer sind, je schiefer das Licht auffällt. Läßt man das auffallende Licht reflectiren, so zeigt sich der Berührungspunkt dunkel, läßt man es durch, so ist dieser Punkt hell; eben so sind an denselben Stellen, an welchen bei reflectirtem Lichte helle Ringe zum Vorschein kommen, bei'm durchgehenden Lichte dunkle Ringe, und umgekehrt. Eine weitere Verschiedenheit zeigt sich auch im Verhältniß der Durchmesser der Ringe. Im reflectirten Lichte verhalten sich die Durchmesser wie die Quadrate der Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w. für die gefärbten, und wie die Quadrate der Zahlen 2, 4, 6, 8 u. s. w. für die dunklen Ringe; bei dem durchgehenden Licht ist dieses umgekehrt. Diese Ringe werden die Newton'sche Farbenringe genannt. Seebeck und Brewster entdeckten, daß ein Würfel oder dicke Stücke von geglühtem und schnell abgekühltem Glase in dem Polarisationsinstrumente ähnliche Erscheinungen in prachtvollen und complementären Farben hervorbringen, wobei die Newton'sche Ringe, die sich hier wieder zeigen, noch von einem schwarzen Kreuze durchzogen sind, wenn die Polarisations-Vorrichtungen senkrecht gegeneinander sind, und von einem weißen, wenn sie einander parallel sind. Mit dem schwarzen Kreuze erscheint auch die Mitte der Ringe schwarz, mit dem weißen aber weiß (Fig. 192). Auch dienen die Farbenerscheinungen des polarisirten Lichts bei Krystallisationen, wo sie zum Vorschein kommen, aus der Art, wie sie sich zeigen, einen Schluß auf die Lage der Krystallachse zu machen. In neuerer

Fig. 192.





Digitized by Google

Zeit haben die Versuche über polarisirtes Licht für allerlei durchsichtige Mineralien noch vielfache Vermehrung gefunden.

§ 216. (Beugung und Interferenz des Lichts.) Wenn Lichtstrahlen an Ecken und scharfen Kanten fester Körper vorbeigehen, so werden sie von ihrem geraden Wege abgelenkt, was man Beugung, Diffraction, auch Inflection des Lichts zu nennen pflegt. Durch die Beugung können Lichtstrahlen in den Schattenraum des Körpers gelangen, ihn erhellen, und unter Umständen auch färben. So wird schon der Schattenkegel einer schwarzen Kugel, die in der Sonne hängt, etwas erleuchtet. Noch deutlicher läßt sich die Beugung wahrnehmen, wenn man durch eine kleine Oeffnung etwas Licht in ein dunkles Zimmer fallen läßt, etwa auf einen dünnen Draht oder ein feines Haar, deren Schatten und beleuchteter Raum dann immer größer ausfällt, als jeder derselben seyn sollte, wenn das auffallende Licht in gerader Linie sich fortpflanzte. Wird der Schatten von einer weißen Wand aufgefangen, so zeigen sich auch schwache farbige Ränder in demselben, was man auch wahrnimmt, wenn Lichtstrahlen durch feine Ritze eines undurchsichtigen Körpers eindringen, und auf eine weiße Wand fallen. Viele Optiker haben für die Beugung des Lichts eigne Werkzeuge erfunden, mit welchen sich interessante Versuche anstellen lassen.

Ganz besonders merkwürdig ist die Interferenz des Lichts, womit man das Zusammentreffen von Lichtstrahlen bezeichnet, die ihre Wirkungen gegenseitig zerstören. Wenn man nämlich durch eine kleine runde Oeffnung Lichtstrahlen in ein dunkles Zimmer fallen läßt, so bildet sich auf einer gegenüberstehenden Wand ein Lichtkreis. Bringt man zwischen die Oeffnung und die Wand einen undurchsichtigen dunkeln Körper, z. B. eine Kugel, so fällt dessen Schatten auf den Lichtkreis, und dieser Schatten zeigt sich mit Ringen von verschiedenen Farben. Wird aber ein kleiner Theil der Kugeloberfläche mit einem etwas größern undurchsichtigen Körper bedeckt, so verschwinden die farbigen Ringe augenblicklich, obschon noch immer der größte Theil der Kugel dem Lichte entgegen steht. Young, der zuerst diese auffallende Erscheinung wahrnahm, nannte sie Interferenz, und schloß daraus, daß die farbigen Ringe aus der an beiden Seiten der Kugel stattfindenden Beugung entstehen, sich also verlieren, wenn eine der Seiten bedeckt wird. Fresnel u. A. verfolgten diese Erscheinung weiter, und entdeckten dabei, daß ein Lichtstrahl, der mit einem andern zugleich auf einen Gegenstand fällt, und die beide aus derselben Lichtquelle herkommen, in gewissen Fällen die Erleuchtung des Gegenstandes verstärken, in andern aber sich gänzlich zerstören, und Dunkelheit hervorbringen. Ob die eine oder die andere dieser beiden wundervollen Wirkungen erfolge, hängt aber allein nur von der Länge des Wegs ab, den jeder der beiden Lichtstrahlen bis zu dem Gegenstande hin zurückzulegen hat, und diese Differenz der Wege hängt zugleich von der Farbe der Strahlen ab. Wenn daher zwei Lichtstrahlen durch zwei kleine Oeffnungen in ein dunkles Zimmer auf eine weiße Fläche fallen, und diese der einen Oeffnung näher als der andern ist, so wird die Erleuchtung des einen Strahls durch den andern verstärkt, wenn beide nicht eine gleiche Brechung erleiden, d. h. an Farbe verschieden sind. Ist aber beider Farbe sich gleich, so interferiren sie, d. h. zerstören sich, wenn der Punkt des Papiers, wo sie sich treffen, nicht gleiche Weite von den Oeffnungen hat, durch welche sie einfallen. Das Wunderbarste in dieser

Digitized by Google

Erscheinung ist aber die Differenz der Wege selbst. Ist sie 1, 2, 3, 4 u. s. w., so findet keine Interferenz statt; ist sie aber $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$ u. s. w., so zerstören sich die Lichtstrahlen, und der Punkt, wo sie sich vereinigen, ist ganz schwarz.

Folgendes Täfelchen dient dazu, die Bedeutung der Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w., d. h. die Entfernung der weißen Fläche von jeder der beiden Oeffnungen, für jede prismatische Farbe zu bestimmen.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Für roth | ist 1 | = 26 | Millionstel | engl. | Zoll |
| „ orange | „ „ | = 24 | „ | „ | „ |
| „ gelb | „ „ | = 23 | „ | „ | „ |
| „ grün | „ „ | = 21 | „ | „ | „ |
| „ blau | „ „ | = 20 | „ | „ | „ |
| „ indigo | „ „ | = 18 | „ | „ | „ |
| „ violett | „ „ | = 17 | „ | „ | „ |

Diese sehr kleinen Größen, die nur durch Mikroskope wahrnehmbar sind, geben nun die Differenzen der Wege an, unter welchen Lichtstrahlen von gleicher Farbe entweder interferiren, oder es nicht thun. Treffen z. B. zwei rothe Strahlen auf die weiße Fläche, und ist diese von beiden Oeffnungen 26 Millionstel Zoll entfernt, oder von der einen 26, von der andern 52, oder 78 Millionstel Zoll u. s. w., so findet keine; ist aber die eine Oeffnung 26, die andere 13, oder 39 oder 65 Millionstel Zoll von der weißen Fläche entfernt, so findet eine Interferenz Statt. Talbot gibt ein einfaches Mittel an, um die Interferenzen der Lichtstrahlen wahrnehmen zu können. Dieses besteht darin, daß man in einem Kartenblatt ein kreisrundes Loch macht, etwa so groß, als die Pupille, und solches mit einem sehr dünnen Glasblättchen belegt. Betrachtet man dadurch das Farbenbild eines Prisma's, das nicht sehr stark zerstreuet, so zeigen sich auf dessen ganzer Länge interferirende dunkle Streifen.

Diese Erscheinung durch das Emanationssystem zu erklären, hat große Schwierigkeiten; nach dem Undulationssystem kann man einen Grund derselben in den Aetherwellen finden, die sich in gewissen Richtungen gegenseitig heben, in andern aber zerstören, wie man dieses auch bei den Wasserwellen wahrnimmt. (§ 95. II.) Schon Grimaldi, der in der Mitte des 17. Jahrhunderts zuerst auf die Beugung des Lichts aufmerksam machte, schrieb zwar diese Erscheinung der Wellenbewegung des Lichts zu, allein das Uebergewicht dieser Theorie wurde erst durch die Versuche begründet, welche Young, Fresnel, Arago u. A. über Polarisation, Beugung und Interferenz anstellten. Nach dieser Theorie werden durch einen polarisirenden Körper die fortschreitenden sowohl, als die zurückgeworfenen Wellen in ihren Richtungen anders geändert, als bei der gewöhnlichen Brechung, wo dann sowohl diese, als jene Wellen eine, jedoch an sich entgegengesetzte Polarisation erzeugen, und jede neue Welle, welche die polarisirende Fläche trifft, wird entweder durchgelassen, oder zurückgeworfen, oder ganz verschluckt (absorbirt). Alles dieses, so wie die mehr oder minder vollständige Polarisation hängt aber besonders auch von dem Winkel ab, unter welchem das Licht die polarisirende Fläche trifft, und die Farbenerscheinungen sind eine Folge der Interferenz. Die Beugung des Lichts entsteht nach dieser Theorie dadurch, daß die Wellen an einem Körper vorbeistreichen und abgelenkt werden.

§ 217. (Chemische Wirkungen des Lichts.) Zu den wundervollen Eigenschaften des Lichts gehören auch dessen chemische Wirkungen. Hierunter

Digitized by Google

versteht man die Aenderungen, welche die Energie des Lichts in wägbaren Stoffen hervorbringen kann, so daß entweder eine chemische Verbindung bewirkt, oder eine solche aufgehoben wird. So bleiben gleiche Maße Chlor- und Wasserstoffgas in farblosem Glase und im Dunkeln, bei gewöhnlicher Temperatur, unverändert, werden aber im Sonnenlichte schnell mit Verpuffung zu Salzsäure verbunden, im Tageslichte erfolgt die Verbindung nur langsam. Wasser, mit Chlor gesättigt, entwickelt im Lichte Sauerstoffgas, indem der Wasserstoff sich mit Chlor verbindet. Leinwand, Papier u. s. w. mit salzsaurem Silberoxyd überstrichen und getrocknet, werden im Lichte schwarz. Weißes Hornsilber, das man erhält, wenn man eine Lösung von salpetersaurem Silber in einer Kochsalzlösung niederschlägt, wird im Lichte violett, dann schwarz, und im Farbenbild am schwärzesten von dem violetten Strahl. Auch unter violetten, blauen und bläulichen Gläsern wird das Hornsilber geschwärzt, unter gelben Gläsern aber bleibt es weiß. Aus einer Lösung von Goldchlorid scheidet sich im Lichte metallisches Gold ab. Die Tinktur, die man durch einen Aufguß von Weingeist auf grüne Blätter erhält, verliert im Sonnenlichte ihre grüne Farbe, und so bleichen und verschießen auch in diesem Lichte die Farbenstoffe, namentlich die aus dem Pflanzenreich. Merkwürdig ist, daß diese chemischen Wirkungen nicht für alle prismatischen Farben dieselben sind. Am stärksten wirken, außer dem farblosen Lichte, die violetten Strahlen, deren Brechbarkeit am größten, deren Wärme am geringsten im Farbenbilde ist, und die Wirkung dieser Strahlen reicht sogar noch über ihre Grenze hinaus, wogegen die rothen Strahlen, welche die geringste Brechbarkeit und die größte Wärme haben, entweder gar keine Wirkung äußern, oder nur eine viel schwächere, oder eine solche, die der Wirkung der violetten entgegengesetzt ist. Große Chemiker, wie Gay-Lüssac, Thenard, Seebeck, Böckmann, Vogel, Bischoff, Wetzlar u. A., haben über die chemischen Wirkungen des Lichts viele und interessante Versuche angestellt, von welchen die hier erwähnten nur einen kleinen Theil ausmachen.

Daß viele Pflanzen ohne Licht nicht gedeihen können, ist ebenfalls eine Folge der chemischen Wirkungen des Lichts, da durch dessen Einfluß die von der Pflanze aufgenommene Kohlensäure wieder zersetzt wird. Auch ist es der Erfahrung gemäß, daß viele Pflanzen, die besonders viel Licht verlangen, ihre Blätter und Blumenkelche nach dem Lichte richten. Gewissermaßen verwandt mit der chemischen Wirkung des Lichts ist auch dessen Wirkung auf mancherlei Stoffe, welche die Eigenschaft besitzen, länger oder kürzer im Dunkeln noch fortzuleuchten, nachdem sie einige Zeit in der Sonne gelegen haben. Man nennt solche Körper Leuchtsteine, Lichtsauger, Lichtträger, und diese Eigenschaft die Phosphorescenz. Hierher gehören: Diamanten, chlorophanische Flußspathe, der Bononische oder Bologneser Stein, Cantous- und Balduin's-Phosphor und dergl. mehr.

§ 218. (Optische Werkzeuge.) Geschliffene Gläser und Spiegel liefern Werkzeuge, ohne welche manches Auge in vielen Fällen und bei mancher Verrichtung gar nicht zurecht kommen könnte, und durch welche allein es erst gelang, alle Theile der Naturwissenschaft auf jene Stufe von Vollkommenheit zu bringen, auf welcher sie heut zu Tage sich befinden. Indessen ist das Sehen durch geschliffene Gläser von dem Sehen mit dem unbewaffneten Auge darin sehr verschieden, daß die Gläser dem innern

Digitized by Google

Auge eine Spannung geben, die auf jeden Fall nicht naturgemäß ist, und die eben darum nicht unbedingt herbeigeführt werden darf. Dieser unnatürliche Zustand, der schädlich auf das Auge wirkt, ist eine nothwendige Folge von der Brechung der Lichtstrahlen in den geschliffenen Gläsern, indem dadurch das Urtheil und die Empfindung, welche bei'm Sehen so innig mit einander verschmolzen sind, in ein eigenthümliches, der Natur des Auges nicht mehr gemäßes und zusagendes Verhältniß gegen einander gerathen. Eben daher rührt es auch, daß ein völlig gesundes Auge mit dem Sehen durch Gläser oft gar nicht gewähren kann. Uebrigens ist die Theorie der optischen Werkzeuge mit weitläufigen, oft schwierigen mathematischen Berechnungen verbunden, und da diese eigentlich dem mathematischen Theile der Optik angehören, so wird es hier genügen, nur Einiges über deren Einrichtung und Anwendung anzuführen.

I. Die Brillen. Für weitsichtige Augen (§ 194), von denen die Bilder naher Gegenstände nicht wahrgenommen werden, dienen Brillen, deren Gläser erhaben sind, weil dadurch die Strahlen der nahen Gegenstände sowohl von der Vorder- als Hinterfläche der Gläser so gebrochen werden, daß sie im Auge eher zusammenlaufen, und sich, erforderlichermaßen, wieder auf der Netzhaut vereinigen. Wie groß die Brennweite der Gläser für jeden besondern Fall seyn müsse, hängt natürlich von dem Grad der Weitsichtigkeit ab; je größer dieser ist, je erhabener müssen auch die Gläser seyn. Conservations-Brillen haben daher sehr lange Brennweiten, von 16 bis 20 Zoll. So thöricht und schädlich es ist, gesunde Augen damit zu bewaffnen, so nützlich sind sie für weitsichtige, die diesen Fehler nur in einem geringen Grade besitzen. Allemal sollte man erst mit Conservationsbrillen den Anfang machen, ehe man zu Gläsern von kürzerer Brennweite übergeht, überhaupt darauf sehen, daß die Brille die Gegenstände zwar verdeutliche, aber nicht sehr vergrößere.

Einem kurzsichtigen Auge, welches die Bilder entfernter Gegenstände nicht wahrnimmt, kommt man durch Hohlgläser zu Hülfe. Hierzu dient dann die einfache Lorgnette, und noch besser die doppelte (das Binoculum), die wie eine Brille gefaßt wird. Durch die Zerstreuung der Lichtstrahlen, welche ein Hohlglas bewirkt, wird ihre Vereinigung im Auge, welche vor die Netzhaut fällt, wieder auf diese hingebracht. Je kurzsichtiger daher ein Auge ist, desto hohler (schärfer) muß auch das Glas seyn, mit welchem es in die Ferne sehen will. Noch weit mehr als durch eine Brille wird das Auge durch eine Lorgnette in eine unnatürliche Spannung versetzt, darum man auch hier noch weit vorsichtiger sich benehmen muß, wenn diesem kostbaren Organ nicht geschadet werden soll. Man muß daher sehr darauf sehen, daß eine Lorgnette entfernte Gegenstände nur etwas verdeutliche, ohne sie zu sehr zu verkleinern. Wollaston schlägt vor Menisken (§ 208) zu Brillen zu gebrauchen; für Weitsichtige concavconvere, für Kurzsichtige convexconcave. Dergleichen Brillen werden perisкopische genannt. Da die Menisken etwas stark spiegeln, so verlieren sie dadurch an Tauglichkeit.

II Die Mikroskope. Eine Converlinse von sehr kleiner Brennweite wird eine mikroskopische Linse oder ein einfaches Mikroskop genannt. Sehr kleine Körperchen, die sich mit bloßen Augen nicht deutlich mehr erkennen lassen, werden, wenn sie sehr nahe bei dem Brennpunkt eines solchen Mikroskops liegen, so sehr vergrößert, daß sie, in gehöriger Entfernung vom Auge liegend, dennoch unter hinlänglich großem Sehewinkel gesehen werden können. Nimmt man die Entfernung des

Digitized by Google

deutlichen Sehens zu 8 Zoll an (§ 194), so wird ein Gegenstand, den man durch ein einfaches Mikroskop betrachtet, in der gehörigen Entfernung des Deutlichsehens liegen können und dessen Durchmesser doch so vielmal vergrößert erscheinen, als die Brennweite des Mikroskops in 8 Zoll enthalten ist. Je kleiner demnach die Brennweite ist, desto stärker ist die Vergrößerung. Für eine Brennweite von $^1/_2$ Zoll wird also schon eine 16fache Vergrößerung des Durchmessers entstehen. Ist die Brennweite nur $^1/_{10}$ Zoll, so wird der Durchmesser des Gegenstandes 80mal, also die Oberfläche des Gegenstandes 6400mal, und der ganze Körper 512000mal vergrößert. Kleine Glaskügelchen, deren Brennweite nur $^1/_{25}$ Zoll beträgt, vergrößern demnach den Durchmesser eines Gegenstandes 200mal, die Oberfläche 40000mal und den Körper im Ganzen 8 Millionen Mal.

Das zusammengesetzte Mikroskop besteht aus mehreren erhabenen Gläsern, die in einer Röhre lothrecht über einander stehen. Dieses Mikroskop ist nicht nur viel wirksamer als das einfache, sondern auch viel bequemer zu behandeln, gewährt auch einen größern Ueberblick und hat mehr Licht als das einfache. Die besten zusammengesetzten Mikroskope haben drei erhabene Gläser, von denen das, unter welchem der Gegenstand zunächst liegt, das Objectivglas, das mittelste das Collectivglas und das oberste das Ocularglas genannt wird. Auf dem Objectivglas, dessen Brennweite wohl nie $^1/_2$ Zoll groß ist, und auf dem Ocularglas beruht eigentlich der Grad der Vergrößerung, und diese wird dadurch bestimmt, daß man die Vergrößerung des einen Glases mit der des andern multiplicirt, wo dann das Produkt die Durchmesservergrößerung des Objects angibt. Auch befindet sich unter dem Objectivglas ein ebener Spiegel, um kleine Körperchen mittelst der Lichtstrahlen, die der Spiegel reflectirt, desto besser erleuchten zu können. Eine noch stärkere Erleuchtung gewährt das Drummond'sche Kalklicht, d. i. Kalk, der in einem Strom von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas zum Glühen gebracht wird, und der dann ein so außerordentlich starkes Licht verbreitet, daß man es sogar für Leuchtthürme und Signale benutzt.

Das Sonnenmikroskop besteht aus einer kleinen Linse, welche gegen die Sonne gerichtet, und in dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers angebracht ist. Den Gegenstand, den man durch dieses Mikroskop betrachten will, befestigt man ein wenig außerhalb der Brennweite der Linse, und zwar verkehrt, damit dessen Bild aufrecht erscheine. Dieses Bild läßt man auf eine recht glatte und weiße Tafel fallen, auf welcher es dann sehr vergrößert erscheint. Je größer die Entfernung ist, in welcher man das Bild auffängt, desto größer wird auch das Bild selbst, daher man mit einem Sonnenmikroskop eigentlich jede beliebige Vergrößerung des Gegenstandes erreichen kann. Da aber mit der Zunahme der Vergrößerung das Bild matter wird und an Deutlichkeit verliert, so muß man, um es möglichst groß und doch deutlich zu erhalten, dafür sorgen, daß der Gegenstand so stark erleuchtet wird, als es nur immer möglich ist. Daher wird der Fensterladen von außen mit einem Planspiegel versehen, den man so richten kann, daß die Lichtstrahlen, welche er reflectirt, auf ein Collectivglas fallen, in welchem sie noch mehr vereinigt werden. In dem Brennpunkt dieses Glases befindet sich nun der Gegenstand, den man betrachten will, und dieser wird dadurch sehr stark erleuchtet. Das Sonnenmikroskop hat den Vorzug, daß mehrere Personen zugleich einen Gegenstand betrachten können, steht aber an Deutlichkeit dem gewöhnlichen

Digitized by Google

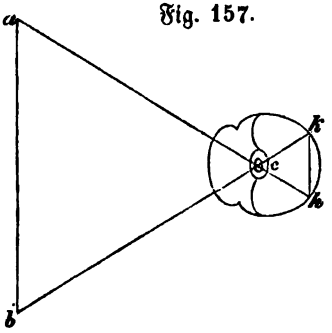
Mikroskop nach, und ist auch nur für solche Körper brauchbar, die durchscheinend sind. Letzteres ist aber kein wesentlicher Mangel, weil fast alle Körper in dünnen Blättchen diese Eigenschaft besitzen.

Man hat Vorrichtungen, vermittelst welcher man einen Gegenstand, statt durch die Sonne, durch eine Lampe erleuchten kann. Ein solches Mikroskop wird ein Lampenmikroskop genannt.

III. Die Zauberlaterne (Laterna magica). Die Zauberlaterne ist ebenfalls ein Lampenmikroskop. Eine solche Laterne hat eine Röhre, in welcher ein erhabenes Glas sich befindet, oder auch zwei, die nicht weit von einander entfernt sind. In der Laterne ist ein kleiner Hohlspiegel angebracht, und in dessen Brennpunkt steht ein Licht. Hinter dem Glase, welches dem Licht am nächsten ist, lassen sich auf Glas gemalte transparente Bilder einschieben, deren vergrößerte Abbildung auf eine gegenüberstehende weiße Wand fällt, und die sich bewegen, wenn die Laterne bewegt wird. Man bedient sich dieser Laterne zu den sogenannten Geistererscheinungen oder Fantasmagorien. Derselbe Apparat dient auch zu der amüsanten Darstellung der sogenannten Nebelbilder. Hierzu sind jedoch zwei dergleichen Laternen erforderlich, die vollkommen gleich construirt sind, und durch gleiche helle Flammen erleuchtet werden müssen, so daß ihre Lichtkreise auf eine gegenüberstehende weiße Wand auf einander fallen, wenn beide zugleich erhellt sind. Zur Darstellung der Nebelbilder erleuchtet man aber die Laternen so, daß sie abwechselnd, eine um die andere, hell und dunkel werden. In dem Maße, wie man in der erhellten Laterne nach und nach die Helligkeit abnehmen läßt, steigert man sie in der dunkeln, und so tritt an die Stelle des Bildes, das jene Laterne zeigte, und das gleichsam in einem Nebel sich verschwimmt hat, das Bild dieser Laterne hervor, und so geht es in stetem Wechsel von Bild zu Bild fort.

IV. Die Camera obscura und clara. Wenn durch eine sehr kleine Oeffnung Licht von einem äußern Gegenstande in ein völlig verfinstertes Zimmer fällt, so sieht man auf einer gegenüberstehenden Wand ein verkehrtes Bild des Gegenstandes, da hier eben so, wie bei der Abbildung eines Gegenstandes auf der Netzhaut, der Punkt a (Fig. 157) in h und b in k sich abbilden muß. Dieses nennt man eine Camera obscura. Setzt man eine Converlinse in die Oeffnung, so werden die Strahlen mehr gesammelt, und das Bild gewinnt an Deutlichkeit. Statt des Zimmers kann man auch einen viereckigen Kasten dazu nehmen, wodurch die Camera obscura tragbar wird. In dem Kasten ist seitwärts eine Converlinse angebracht, die sich nach den Gegenständen, welche man sehen will, richten läßt. Die Strahlen, welche durch die Linse gehen, fallen auf einen ebenen Spiegel, der am Boden des Kastens unter einem Winkel von 45 Grad angebracht ist, und werden nun von diesem auf ein im Kasten befindliches weißes Papier geworfen, auf welchem man dann ein kleines und verkehrtes Bild des Gegenstandes wahrnimmt.

Fig. 157.




Wird das Bild durch eine Oeffnung betrachtet, in welcher sich ein

Digitized by Google

zweites Sammelglas befindet, so wird der Apparat eine Camera clara genannt. Wollaston hat eine Camera lucida (helle Kammer) erfunden, deren man sich zum Abzeichnen von Gegenständen bedient, wenn solche gut erleuchtet sind. Der Apparat besteht aus einem gläsernen Prisma, dessen vier Kanten gut geschliffen, dessen Flächen aber nicht parallel sind, so daß das Licht der Gegenstände nicht gebrochen, sondern reflectirt wird. Das Prisma sitzt auf einem Gestelle, auf welchem es gerichtet und bewegt werden kann.

V. Die Fernrohre. Die Fernrohre, welche bekanntlich dazu dienen, entfernte Gegenstände unter hinlänglich großem Sehewinkel und deutlicher als mit bloßem Auge wahrnehmen zu können, sind entweder aus Gläsern allein zusammengesetzt, in welchem Falle das Fernrohr ein dioptrisches oder ein Tubus genannt wird, oder sie bestehen aus Gläsern und Spiegeln. Ein Fernrohr der Art wird ein katoptrisches, ein Reflector, ein Spiegeltelescop genannt. Der Raum, den man durch ein Fernrohr übersehen kann, wird das Gesichtsfeld genannt. Das Glas oder der Spiegel, der das Licht unmittelbar von dem Gegenstand empfängt, wird das Objectivglas, der Objectivspiegel genannt. Die übrigen Gläser heißen Augengläser (Oculargläser). Von dioptrischen Fernrohren gibt es dreierlei Arten.

1) Das holländische oder Galileische. Dieses besteht aus zwei Glaslinsen. Das Ocularglas ist concav, das Objectivglas conver. Die Entfernung des Zerstreuungspunktes vom Ocularglase muß in diesem Rohr viel kleiner seyn, als die Brennweite des Objectivglases, und je mehr dieses statt hat, desto stärker fällt die Vergrößerung aus. So vielmal nämlich die Zerstreuungsweite des Oculars in der Brennweite des Objectivs enthalten ist, so vielmal vergrößert erscheint der Durchmesser der Gegenstände. Beide Gläser stehen im Rohr ungefähr um den Unterschied ihrer Beennweiten von einander ab. Dieses Rohr zeigt zwar die Gegenstände in ihren natürlichen Stellungen, wird aber doch, seines kleinen Gesichtsfeldes wegen, gegenwärtig fur noch zu Taschenperspectiven gebraucht. Ein holländischer Brillenmacher, Janſen, soll am Ende des 16ten Jahrhunderts es erfunden haben. Der berühmte Galilei, der davon hörte, aber das Rohr nicht kannte, erfand es durch Nachdenken zum zweiten Mal.

2) Das Kepler'sche oder astronomische. Dieses, von Kepler angegebene Fernrohr, hat ebenfalls nur zwei Gläser, allein beide, das Ocular sowohl wie das Objectiv, sind conver, nur ist die Brennweite von diesem größer, als sie von jenem ist. So vielmal die größere Brennweite in der kleinern enthalten ist, so viel beträgt die Vergrößerung. Beide Gläser stehen im Rohr so weit auseinander, als die Summe ihrer Brennweiten beträgt. Dieses Rohr, welches seiner starken Vergrößerung wegen bei astronomischen Beobachtungen gute Dienste leistet, ist aber, weil es die Gegenstände verkehrt abbildet, zu Beobachtungen auf der Erde unbequem.

3) Das Erdrohr. Dieses besteht aus vier converen Gläsern, wodurch bewirkt wird, daß die Gegenstände in ihrer natürlichen Stellung und Lage erscheinen. Ein Jesuit, Rheita, hat es in der Mitte des 17ten Jahrhunderts zuerst angegeben. Wegen der vielen Gläser verlieren aber die Bilder an Lebhaftigkeit.

Da die Linsen, deren brechende Flächen nicht parallel sind, immer auch, wie ein Prisma, das durchgehende Licht in farbige Strahlen zer-

Digitized by Google

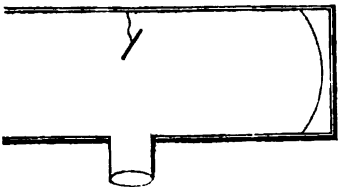
spalten, so wird dadurch das Bild eines Gegenstandes, welches durch ein Fernrohr in das Auge gelangt, nicht in seiner natürlichen Farbe erscheinen, sondern allemal mit einem Regenbogenrande umgeben seyn, wodurch dann eine bedeutende Undeutlichkeit in der Abbildung, die man die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung nennt, entsteht. Da übrigens die Linsen sphärisch sind, und sphärische Gläser keinen eigentlichen Brennpunkt, sondern einen Brennraum haben (§ 209), so liegt hierin eine zweite Quelle von Undeutlichkeit, welche man die Abweichung wegen der Gestalt des Glases nennt. Letztere sucht man dadurch zu heben, daß man den Rand der Gläser schwarz belegt, welches man eine Blendung nennt. Hieraus entsteht aber wieder ein anderer Nachtheil, indem die Blendungen das Gesichtsfeld verkleinern. Uebrigens heben die Blendungen die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung, welche eine weit größere Quelle der Undeutlichkeit ist, als die Abweichung wegen der Gestalt des Glases, gar nicht auf. Newton hatte bereits der Abhülfe des Uebels sein Nachdenken gewidmet, allein er glaubte sich zuletzt überzeugt, daß hierzu kein Mittel vorhanden sey. Ein halbes Jahrhundert später glaubte der sehr berühmte Mathematiker Euler, aus Betrachtungen über den Bau des menschlichen Auges, Mittel auffinden zu können, wodurch man allerdings diesem Uebel abhelfen könne. Aus weitläufigen Berechnungen, die er deßhalb anstellte, glaubte er gefunden zu haben, daß es ein Gesetz gebe, vermittelst dessen man aus Glas und Wasser ein Objectivglas zusammensetzen könne, welches ein farbenloses Bild geben müßte. Vergebens gaben sich aber die geschicktesten Künstler alle Mühe, Objectivgläser nach diesem Gesetz zu schleifen. Endlich wurde ein vortrefflicher englischer Künstler, Dolland, dadurch, daß Klingenstjerna, ein ausgezeichneter schwedischer Mathematiker, in Newton's Gesetzen über die Farbenzerstreuung Widersprüche entdeckte, veranlaßt, auf dem Wege der Erfahrung dergleichen Mittel aufzusuchen, und im Jahre 1757 gelang es ihm, Objectivgläser aus Flint- und Kronglas (§ 204) zusammenzusetzen, welche gar keine Farbenzerstreuung mehr gaben. Diese Fernrohre, die ihrer Vorzüge wegen bald allgemein in Gebrauch kamen, nennt man achromatische oder farbenlose, auch Dolland'sche. In der Folge wurden diese Gläser immer mehr verbessert und erlangten endlich durch Fraunhofer einen so überaus hohen Grad von Vollkommenheit, daß man jetzt achromatische Gläser hat, die für Vergrößerung und Deutlichkeit fast nichts mehr zu wünschen übrig lassen. Als Fraunhofer durch ein solches achromatisches Rohr das Farbenbild betrachtete, fand er es mit 600 dunklen Streifen von verschiedener Breite durchzogen, die zwar auf sehr mannigfaltige Art in demselben zerstreuet sind, die aber, in Beziehung auf die Farben, eine feste Lage haben, und fand darin ein Mittel, das Brechungsvermögen der einzelnen Farben mit großer Genauigkeit zu bestimmen. Die Länge der einzelnen Farben für die 360 gleiche Theile des ganzen Farbenbildes (§ 211) bestimmte er, für sein Prisma aus vorzüglichem Flintglas, auf folgende Weise: für das Violette 109; Indigo 47; Hellblaue 48; Grüne 46; Hellgelbe 27; Orange 27; Rothe 56.

Newton, in der Meinung, daß die dioptrischen Fernrohre von dem Fehler der Farbenzerstreuung nicht befreit werden könnten, suchte dem Uebel dadurch abzuhelfen, daß er sie ganz aufgab, und dagegen das Spiegelteleskop erfand. Auch von diesem gibt es dreierlei Arten.

Digitized by Google

1) Das Newton'sche. Der wesentliche Theil dieses Teleskops ist ein metallner Hohlspiegel als Objectivspiegel. Dieser wirft die Lichtstrahlen auf einen ebenen Spiegel, der mitten in der Achse des Seherohrs an einem dünnen Arm befestigt ist, und mit dieser Achse einen Winkel von 45 Grad macht. An der Stelle des Rohrs, wohin der ebene Spiegel das aufgefangene Bild reflectirt, ist das Rohr durchbrochen, und hier wird das Bild durch eine mikroskopische Linse betrachtet (Fig. 193). Da bei der Zurückstrahlung von Metallspiegeln keine Farbenzerstreuung stattfindet, auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt nur gering ist, so hat ein solches Teleskop bedeutende Vorzüge gegen ein gewöhnliches Fernrohr, besonders gegen ein nicht achromatisches. Weil man aber in dieses Teleskop zur Seite hineinsieht, so sucht man zuerst den Gegenstand, den man betrachten will, durch ein Fernrohr, das außerhalb am Teleskop angebracht und mit dessen Achse parallel ist, auf. Ein solches Fernrohr nennt man einen Sucher oder Finder.

Fig. 193.



2) Das Cassegrain'sche. Cassegrain wollte den Sucher vermeiden und der Abweichung wegen der Kugelgestalt begegnen. In letzterer Beziehung nahm er statt des Planspiegels einen Converspiegel. Den Hohlspiegel durchbohrte er, um das Ocularglas wie bei einem gewöhnlichen Fernrohr anbringen zu können. Hierdurch kann nun der Sucher wohl erspart werden, dagegen gehen aber viele Strahlen verloren. Daher dieses Teleskop nicht sehr beliebt wurde.

3) Das Gregory'sche Gregory vertauschte den Planspiegel mit einem zweiten kleinen Hohlspiegel, der mit dem großen parallel im Rohr steht, und dem er seine polirte Fläche zukehrt. Von diesem kleinen Hohlspiegel werden die Strahlen, welche von dem größern darauf fallen, durch eine runde Oeffnung, die in den großen Spiegel gebohrt ist, auf zwei Converlinsen geworfen, die sie in das Auge bringen. Auch hier ist zwar kein Sucher erforderlich, dagegen gehen aber auch, wie bei dem Cassegrain'schen, viele Strahlen verloren.

Das Gregory'sche Teleskop wurde indessen sehr beliebt, bis endlich in neuerer Zeit der verstorbene berühmte Astronom Herschel (der ältere) wieder zu der Newton'schen Einrichtung zurückkehrte, jedoch mit der Abänderung, daß das Bild im Hohlspiegel unmittelbar durch ein converes Ocular betrachtet wird. Herschel's großes Spiegelteleskop ist 40 Fuß lang, der Spiegel hat einen Durchmesser von 5 Fuß und wiegt einige tausend Pfund, läßt sich aber dennoch sehr leicht nach allen Richtungen mittelst künstlicher Vorrichtungen drehen. Mit diesem Instrument, welches einen Gegenstand dreitausendfach zu vergrößern vermag, und ein möglichst starkes Licht gibt, hat Herschel jene astronomischen Entdeckungen gemacht, durch die er seinen Namen in der Geschichte der Astronomie verherrlichte.

VI. Der optische Spiegel. Darunter versteht man einen um $45^0$ geneigten ebenen Spiegel, vor welchem eine Converlinse senkrecht angebracht ist. Die unter dem Spiegel liegenden Bilder erscheinen dadurch in bedeutender Vergrößerung, wie dieses bei den sogenannten Guck-

Digitized by Google

kasten der Fall ist. Dergleichen gemalte Ansichten können aber auch, wenn sie hinlänglich schön erleuchtet sind, in einem dazu eingerichteten dunkeln Zimmer nur durch convexe Linsen allein betrachtet werden, und heißen alsdann Dioramen, auch dioptrische Panoramen, zum Unterschied von den eigentlichen Panoramen, worunter man jene große Rundgemälde versteht, wie solche von Barker 1793 zuerst ausgeführt worden sind.

§ 219. (Fixirte Lichtbilder.) Eine neue, wahrscheinlich in das Gebiet der chemischen Lichtwirkungen einschlagende, merkwürdige Erfindung, die der Maler Daguerre in Paris gemacht hat, die aber Andere, wenn schon nicht in gleicher Ausdehnung und Vollkommenheit, früher ebenfalls gemacht haben wollen, besteht in der Kunst, die Bilder einer Camera obscura, mit Hülfe gewisser Vorrichtungen und Mittel zu fixiren. Diese Erfindung, die ein allgemeines Aufsehen auf sich zog, wurde die Photographie, auch Heliographie genannt. Daguerre hat aber seine Procedur sehr geheim gehalten, und erst in der Sitzung der französischen Akademie am 19. August 1839 hat Arago, mit Vorzeigung von Daguerreotypen, die allgemeine Bewunderung erregten, das Verfahren näher auseinander gesetzt, nachdem das Gouvernement dem Erfinder sein Geheimniß abgekauft hatte. Mittlerweile haben indeß zwei Professoren in München, Kobell und Steinheil, ebenfalls ein heliographisches Verfahren aufgefunden, welches in Folgendem besteht: Auf geleimtes feines Papier wird eine dünne Schichte Chlorsilber aufgetragen, dadurch, daß das Papier zuerst mit salpetersaurer Silberauflösung bestrichen, und getrocknet, durch eine Salmiakauflösung gezogen, dann an einem dunkeln Orte aufbewahrt wird. Vor dem Gebrauche wird das Papier mit Wasser befeuchtet, wodurch es sehr empfindlich wird. In dem Augenblick, wo ein Gegenstand auf dem Papier sich deutlich abbildet, was sehr schnell erfolgt, wird es in kaustisches Ammoniak (Aetzammoniak) gelegt, nach einiger Zeit herausgenommen, in Wasser abgewaschen und getrocknet. War die Wirkung des Lichts in gehöriger Kraft, so hat es alles nicht veränderte Chlorsilber aufgelöst und von dem Papier entfernt, während die Zeichnung in braunem Ton mit lichten Schatten in der Masse des Papiers festsitzt.

Da die Bilder einer Camera obscura verkehrt sind, so kommt es noch darauf an, sie umzukehren, welches auch dadurch geschehen kann, daß man die Zeichnung wieder auf ein ähnliches präparirtes Papier bringt, und dann die Rückseite der Zeichnung einem kräftigen Sonnenlicht aussetzt.

Diese Lichtbilder lassen sich nun auch radiren und sehr schön und getreu wiederholen. Zu ihrer Radirung wurde folgendes Verfahren angewandt: Auf einer gewöhnlichen Glastafel trug man einen dünnen Radirgrund von Asphalt warm auf, der über Licht etwas geschwärzt wurde. Auf diesen Grund, der nicht einmal ganz undurchsichtig zu seyn brauchte, konnte die Zeichnung ohne Aetzen und Presse radirt werden. Zum Schutze des Grundes wird ein sehr dünnes Glimmerblatt aufgelegt, welches schon durch ein paar Wassertropfen fest haftet. Das bereitete Papier wird naß auf das Glimmerblatt gedrückt und dem Sonnenlicht ausgesetzt. Die Zeichnung drückt sich in wenigen Minuten darauf ab, erst in violettem Ton, wird aber, nachdem man die Zeichnung vorsichtig abgenommen und in kaustisches Ammoniak gelegt hat, nach und nach wieder braun. Zuletzt wird sie in Wasser abgespült und getrocknet.

§ 220. (Daguerre's photographische Versuche.) Schon 1826 fand Daguerre

Digitized by Google

Mittel, Papier so zu bereiten, daß es für die Einwirkung des Lichts außerordentlich empfindlich wurde, was ihn späterhin auf das Präparat zu seinen fixirten Lichtbildern führte, das sich jedoch wieder auf ganz andere Principien gründet. Daguerre's Verfahren, Papier zu bereiten, auf welches die Wirkung der Strahlung sich fast augenblicklich zeigt, ist folgendes:

Man wählt ungeleimtes oder schwach geleimtes Papier (Druckpapier) und weicht es in Salzäther ein, der durch langsame Zersetzung schwach sauer geworden ist, oder trägt diese Flüssigkeit mit einem recht weichen Pinsel auf. Das so bereitete Papier läßt man dann an der Luft oder bei gelinder Wärme trocknen. Wenn es recht vollständig ausgetrocknet ist, wird es in eine, in verschlossenen Glasflaschen an einem dunkeln Ort aufbewahrte Auflösung von salpetersauerm Silber in destillirtem Wasser getaucht, oder eine Seite des Papiers gleichförmig damit begossen, und an einem dunkeln Ort getrocknet. Da die aus den Körpern ausströmende Wärme, selbst aus dunkeln Körpern, das Papier leicht färben, so darf die Wärme da, wo das Papier getrocknet wird, nur sehr schwach seyn, und das getrocknete Papier muß auch, wenn es nicht sogleich gebraucht werden soll, in ein Buch oder eine Mappe gelegt und beschwert werden, um Licht und Luft abzuhalten. Zu bemerken ist, daß man die Auftragung der Silberauflösung nicht mit einem Pinsel verrichte, weil sonst an den Stellen, wo man den Pinsel nach und nach ansetzt, weißliche Striche sich bilden, die ziemlich unempfindlich für das Licht bleiben. Biot, von dem die Mittheilung dieses Verfahrens herrührt, erklärt diesen merkwürdigen Umstand durch die ungleichen elektrischen Zustände, die das Papier in den Berührungsstellen dieser Ansätze annimmt.

Solches Papier färbt sich ungemein schnell, wenn man es dem Sonnen- oder dem zerstreuten Licht aussetzt, besonders wenn es noch feucht ist.

Wird das Papier, ehe das salpetersaure Silber die erforderliche Verbindung eingegangen hat, in Wasser gut ausgewaschen, und ohne Wärme getrocknet, so verliert es seine Empfindlichkeit für das Licht, so wie diese überhaupt auch nach und nach mit der Zeit immer schwächer wird. Daguerre hat gefunden, daß die Intensität der Färbung, so wie ihr Fortschritt, sehr von der Beschaffenheit der durchsichtigen, gefärbten und farblosen Gläser abhängt, durch welche man das Sonnen- oder das zerstreute Licht auf so zubereitetes Papier fallen läßt. Ganz andere Resultate erhielt er aber durch das Verfahren, dessen er sich bei der Zubereitung seiner Tafeln bediente, auf welche er die Bilder der Camera obscura fixirte.

In dem bekannt gewordenen Bericht, den Arago in der französischen Deputirtenkammer über diesen Gegenstand erstattete, sagt er darüber u. A. etwa Folgendes: Porta, ein neapolitanischer Physiker, entdeckte vor zwei Jahrhunderten die Camera obscura, und hoffte damit der Zeichnenkunst einen wichtigen Dienst geleistet zu haben, allein diese Hoffnung ging nicht in Erfüllung, da sich für die Luftperspective keine Anwendung davon machen ließ. Die ersten Spuren der photographischen Kunst fallen in den Anfang des 19. Jahrhunderts; denn obwohl die wunderbare Eigenschaft des Horn- oder Chlorsilbers am Lichte, je nach der Stärke der Strahlen, sich mehr oder weniger zu schwärzen, den Alchymisten schon bekannt war, so hatte man doch damit nie irgend

Digitized by Google

ein bemerkenswerthes Resultat erreicht. Der Franzose Charles war der erste, der in den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts in seinem Lehrcurse eines bestrichenen Papiers sich bediente, womit er durch die Lichtwirkung Schattenrisse hervorbrachte, allein sein Geheimniß ging mit ihm zu Grabe, und die ersten Ideen zu diesen Lichtzeichnungen wurden durch ein 1802 erschienenes Memoire des Engländers Wedgwood hervorgerufen. Dieser fand aber die Bilder der Camera obscura zu schwach, um auf Hornsilber oder Silbersalpeter eine Wirkung zu äußern. Späterhin gelang es dem Britten Humphry Davy, durch das Sonnenmikroskop kleine Gegenstände auf einem mit Chlorsilber bestrichenen Papier zu copiren, aber nur in sehr geringer Entfernung von der Linse. Weder Wedgwood, noch Davy konnten aber ihre Zeichnungen gegen die fortdauernde Wirkung des Lichts schützen, daher man diese Zeichnungen auch nur bei Lampenschimmer betrachten konnte, da Tageslicht sie sogleich völlig schwärzte.

Auf diesem Standpunkt fand Niepce die photographische Kunst, als er sich 1814 damit zu beschäftigen anfing; seine Arbeiten waren auch nicht ohne verdienstliche Resultate, besonders für das photographische Copiren von Kupferstichen, sie waren aber fruchtlos hinsichtlich der Fixirung der Bilder der Camera obscura. Die Platten, wie Niepce sie dazu präparirte, schwärzten nicht schnell genug unter der Einwirkung des Lichts, und er brauchte 10 bis 12 Stunden, um eine Zeichnung zu Stande zu bringen. Die Folge davon war, daß während dieser Zeit die Schatten der Gegenstände zu sehr verschoben wurden, wodurch alle Wirkungen der Licht- und Schattencontraste verloren gingen, und obgleich die Bilder, die Niepce erhielt, in den Sonnenstrahlen nicht völlig schwarz wurden, so litten sie doch durch die kleinen Schuppen, die dann auf der bestrichenen Platte entstanden.

Daguerre, mit welchem Niepce 1826 in Verbindung trat, erfand dagegen eine Substanz, welche nicht nur von den schwächsten Strahlen modificirt wird, sondern auch von so schneller Wirkung ist, daß die Schatten sich zu verschieben keine Zeit haben, die Bilder, so bald sie einmal fixirt sind, die Wirkung der Sonnenstrahlen ohne Nachtheil aushalten, und in Jahren nichts an Reinheit und Glanz verlieren.

Die erste Substanz, die Daguerre anwandte, war mit Chlorsilber geschwängertes Papier. Als er aber die geringe Empfänglichkeit desselben, die Confusion der Bilder und die Unsicherheit der Resultate wahrnahm, vertauschte er es mit Kupfertafeln, die mit ganz dünnen Silberplättchen plattirt sind. Eine solche Tafel kommt freilich auf 3 bis 4 Franken, kann aber auch hundertmal hinter einander zu Abbildungen benutzt werden, und das ganze Verfahren ist dabei so einfach, daß es Jeder in Ausübung bringen kann. Hält man sich nur genau an wenige ganz einfache Vorschriften, so operirt der nächste Beste so sicher und gut, wie Daguerre selbst. An düstern Wintertagen braucht es kaum 10 bis 12 Minuten, um ein Bauwerk, die Ansicht einer Straße, eine Landschaft aufzunehmen, im Sommer, bei hellem Sonnenschein, nur die halbe Zeit, und in südlichern Ländern noch weniger. Innerhalb dieser Zeit zeichnet sich das durch die Linse der Camera obscura hervorgebrachte Bild vollständig auf der Tafel ab, so daß für die ganze Operation, wenn man die Aufstellung des Apparats, die Zubereitung der plattirten Tafel und noch die Zeit rechnet, welche erforderlich ist, um das Bild für das Licht

Digitized by Google

ferner unempfindlich zu machen, etwa 30 bis 45 Minuten darauf gehen. Der Schmelz und die Harmonie der photographischen Bilder hängt aber hauptsächlich von der vollkommenen Glätte und der gar nicht zu berechnenden Dünnheit der Schichte ab, auf welcher Daguerre operirt. Wollte man dergleichen Gebilde reiben, darauf tupfen, oder gar sie lithographiren und unter die Presse bringen, so würden sie gänzlich zerstört werden.

Der Stoff, dessen sich Daguerre zu seinen Abbildungen bedient, ist ein weit empfindlicheres Reagens für das Licht, als alle bisher bekannten, und mit Bestimmtheit kann man behaupten, daß durch die von Daguerre entdeckten Reagentien die Lichtstärke der verschiedenen Lichter sich fortan absolut messen und nach ihren Wirkungen vergleichen lassen. Dieselbe Tafel gibt ihm, wenn es ihm gut dünkt, Eindrücke der blendenden Sonnenstrahlen, der dreihunderttausendmal schwächern Strahlen des Mondes, so wie der der Sterne. Diese Eindrücke kann er unter einander gleich herstellen, entweder dadurch, daß er die stärksten Lichter durch neu entdeckte Mittel, deren Angaben hier zu weit führen würden, schwächt, oder dadurch, daß er die Strahlen, nach Verschiedenheit ihres Glanzes, eine oder eine halbe Sekunde lang wirken läßt.

In diesem Bericht, so wie in dem an die Akademie, erwähnte Arago noch einer besondern sehr interessanten Beobachtung, die Daguerre gemacht hatte; er fand nämlich, daß die Morgenstunden und die Abendstunden, die gleich weit vom Mittag entfernt sind, und demnach derselben Höhe der Sonne entsprechen, doch nicht gleich gut zu Hervorbringung der photographischen Bilder (Daguerreotypen) geeignet sind. So bildet sich in allen Jahreszeiten und bei scheinbar völlig gleichem Zustand der Luft das Bild um sieben Uhr Morgens etwas schneller, als um fünf Uhr Abends, um acht Uhr schneller, als um vier Uhr, um neun Uhr schneller, als um drei Uhr.

Das ausführliche Daguerre'sche Verfahren, wie solches Arago in der oben erwähnten Sitzung der Akademie angab, besteht wesentlich in Folgendem: Die mit ganz dünnen Silberplättchen plattirte Kupfertafel wird erst, vermittelst verdünnter Salpetersäure, von allen fremdartigen Stoffen, die noch an der Oberfläche sich befinden, namentlich von allen Kupfertheilchen, was die Silberplättchen noch enthalten mögen, völlig und sehr sorgfältig gereinigt. Um die Wirkung der Säure zu befördern, wird zwar die Tafel gerieben, allein nicht anhaltend in gleicher Art, aber stets in einer gewissen Richtung.

Arago vermuthete, daß bei diesem photographischen Verfahren die Contactelektrizität (§ 234) mit im Spiele sey, da Daguerre bemerkt hat, daß die mit Silberplättchen belegte Kupfertafel weit günstigere Resultate liefert, als Tafeln von reinem Silber.

Ist nun die Tafel vollständig gereinigt, so wird sie in einem verschlossenen Kästchen den Dämpfen der Jodine (einem aus Seetang bereiteten Stoffe) ausgesetzt, und dieses so lange, bis sie ganz gelb geworden ist. Der Jodinüberzug, der nun auf der Tafel haftet, ist dabei so außerordentlich dünn, daß er, nach einer Schätzung, die Dumas damit vorgenommen hat, nur erst ein Millionstheilchen eines Millimeters beträgt. Indessen erfordert die ganze Operation große Vorsicht, da Alles davon abhängt, daß der Jodinüberzug sich vollkommen gleichförmig über die ganze Tafel verbreite. Zu dem Ende läßt man die Jodindämpfe durch ein leichtes, zwischen ihnen und der Tafel befindliches Gas streichen,

Digitized by Google

wodurch sie gleichsam gesiebt werden, und sich gleichförmig verbreiten, besonders aber ist darauf zu sehen, daß die Tafel ringsum einen kleinen Metallrand habe, sonst condensiren sich die Dämpfe nach dem Rande mehr, als nach innen.

So vorbereitet, bringt man die Tafel in die Camera obscura, wo man aber bei dem Transport streng darauf sehen muß, daß kein Lichtstrahl sie treffe, der sonst fast augenblicklich auf sie wirkt. Daguerre bringt in dem Brennpunkt der dunkeln Kammer ein mattgeschliffenes Glas an, das er, mit Hülfe einer einfachen Vorrichtung, so lange hin- und herschieben kann, bis das äußere Bild, das auf die Tafel kommen soll, sich recht schön und deutlich darauf zeigt, worauf er dann die Tafel an eben diesen Punkt einsetzt, und nach einer sehr geringen Zeit ist der Effekt auf die Tafel auch schon fertig. In diesem Zustande ist aber das Bild kaum noch wahrzunehmen, und erst dann zeigt sich dieses deutlich, wenn die Tafel eine Zeitlang in einem verschlossenen Kästchen Quecksilberdämpfen ausgesetzt und bis zu 60 Grad R. oder 167 Grad F. erhitzt worden ist. Bei diesem Verfahren ist aber der Winkel, unter welchem das Bild den Mercurialdämpfen ausgesetzt wird, von besonderer Wichtigkeit, da sich hierdurch die Lage bestimmt, in welcher es zu Gesicht kommt; soll das Bild in verticaler Stellung erscheinen, so muß es unter einem Winkel von etwa 45 Grad von den Dämpfen erreicht werden, dagegen es horizontal liegen muß, wenn verlangt wird, es unter einem solchen Winkel zu sehen.

Von diesen Dämpfen befreit, wird die Tafel in unterschwefelsaures Natron getaucht, wo dann die Schattentheile des Bildes, auf welche das Licht nicht hat wirken können, mehr hervorgehoben, während die hellen Stellen nicht davon angegriffen werden.

Das nun mit Licht und Schatten vollkommen hergestellte Bild wird zuletzt noch abgewaschen, indem man die Tafel in destillirtes Wasser taucht, und ist nun von solchem Bestand, daß es, dem Lichte ausgesetzt, nicht mehr davon angegriffen wird.

Auf mehrere Einwürfe, die man gegen die Ausführbarkeit des Verfahrens Daguerre's erhoben hatte, erörterte Arago in der Sitzung der Akademie am 27. August 1839, daß die Operationen keineswegs zu den sehr schwierigen gehörten, und erwähnte zugleich einer wichtigen Verbesserung zur Aufbewahrung der Bilder. Dieß besteht in einem von Dumas angewandten Firniß aus sechs Theilen Wasser und einem Theil Dextrin (einem aus Kartoffelstärke gewonnenen Gummi), der kochend über die Platte gegossen wird. Dieser Aufguß läßt nach dem Erkalten einen Ueberzug zurück, der so leicht und durchsichtig ist, daß die Zartheit der Zeichnung dadurch nicht verändert wird, und macht es möglich, die Bilder abdrucken zu können, was in ihrem ursprünglichen Zustande nicht angeht.

Eine Erklärung über die Wirkungen des Lichts, welche in den Daguerreotypen sich darstellen, hat man in der Annahme gesucht, daß sich die Silberschichte während der Einwirkung des Quecksilberdampfes mit Amalgamkügelchen bedecke, und daß diese bei den grellen Lichtern sehr nahe beisammen stehen, in den Mitteltinten allmählich abnehmen und bei'm Schwarzen sich ganz verlieren. Auch fand Dumas, mittelst des Mikroskops, daß die hellen und halbschattirten Partien wirklich durch Kügelchen gebildet sind, deren Durchmesser ihm und Brogniart sehr



Digitized by Google

regelmäßig ein Achthundertstel eines Millimeters zu sein schien. Eine vollständige Analysirung des ganzen Verfahrens zu geben, steht aber noch bevor.

Die bis jetzt angestellten Untersuchungen haben ergeben, daß die plattirte Schichte nach der Bedeckung mit der Jodschichte nicht auffallend an Gewicht zunimmt, desto mehr aber unter der Einwirkung des Quecksilberdampfes. Dagegen aber hat sich Pelouze überzeugt, daß nach der Waschung mit dem Natron die Schichte, ungeachtet der Anwesenheit von etwas Amalgam auf der Oberfläche, doch weniger wiegt, als vor dem Beginn der Operation, woraus hervorgeht, daß die Säure Silber hinweg nimmt, was auch durch chemische Untersuchung der Flüssigkeit sich bestätigt hat.

Uebrigens sind bereits mehrere Versuche, u. A. von Coulier und Bayard, statt mit Metallplatten, mit Papier gemacht worden, die von gutem Erfolg waren. In Hinsicht der Metallplatten schlug Arago vor, versilberte Kupfertafeln statt der plattirten zu gebrauchen, wie auch noch manche andere Behandlungsarten der Platten, wodurch der Effekt des Bildes noch mehr erhöhet wird.

Seitdem nun diese merkwürdige Erfindung allgemein bekannt wurde, haben Talbot, der auch ein besonders zubereitetes, für das Licht äußerst empfindliches, Papier erfand, das er kalotypes Papier nennt, Kobell, Enzmann, Asherson, Kratochwila, Gebrüder Natterer u. A. sie theils verbessert und vervollkommnet, theils noch andere Verfahrungsarten dafür angegeben, und sie auch auf das Portraitiren angewendet, wozu Voigtländer einen eignen Apparat erfand. Auch kann man jetzt Lichtbilder mit dem Drummond'schen Kalklicht (§ 218. II.), selbst mit gewöhnlichem Lampenlicht, hervorbringen.

Der Daguerre'schen Erfindung folgte aber eine andere höchst merkwürdige und belangreiche, deren Urheber Moser ist, und die darin besteht, Lichtbilder auch im Finstern hervorzubringen. Legt man nämlich im Finstern eine gravirte Agat- oder Metallplatte auf eine vollkommen reine Glasplatte, etwa eine Stunde lang, so zeigt sich, wenn man alsdann die Glasplatte behaucht, das deutliche Bild der Gravirungen darauf. Moser jodirte auch eine Silberplatte bei Nacht, ohne Licht, legte eine gravirte Agat- oder Metallplatte, oder sonst dergleichen darauf, und erhielt ein deutliches und dauerndes Bild der Figuren, nachdem die Platte eine Zeitlang den Quecksilberdämpfen von etwa 100° C. ausgesetzt war. Durch diese und ähnliche Versuche, die auch dann noch gelangen, wenn zwischen der Silber- und den gravirten Platten schmale Glimmerstreifchen von etwa $^1/_5$ bis $^1/_4$ Linie Dicke lagen, so daß die Platten sich nicht einmal völlig genau berühren konnten, folgerte Moser, daß auch die dunkeln Körper Licht verbreiten, das aber von der Art ist, daß unser Auge es nicht wahrzunehmen vermag, daher er dieses Licht unsichtbares Licht nannte. Durch weitere Versuche fand Moser, daß Dämpfe, gleichviel aus welchem Körper sie sich entwickeln, in dem Augenblick, in welchem sie ihren Aggregatzustand wieder verändern, ebenfalls Licht von sich geben, und dieses nannte er gebundenes oder latentes Licht, weil es, ähnlich der latenten Wärme, erst aus den Dämpfen frei wird, wenn sie jene Veränderung erleiden, und schloß daraus, daß Berührung, so wie die Verdichtung von Dämpfen, ebenso, wie das Licht selbst, auf die Platten wirken, und daß sie sich nur in der Größe ihrer Wirkung von einander unterscheiden. Nach Moser ist daher eine chemische Wirkung des Lichts weder bei seinen, noch bei den Daguerre'schen Bildern

Digitized by Google

vorhanden, sondern das Entstehen derselben rühre bloß davon her, daß an den Stellen, die vom Licht getroffen worden sind, der Dampf sich verdichte, wo dann durch das Ausscheiden seines latenten Lichts die Erzeugung des Bildes erfolge, und um so schneller, wenn die Platte jodirt ist. Naturgemäßer ist die Erklärung der Daguerreotypen von Waidele versucht worden. Nach ihm scheidet das Licht an den Stellen, wo es die jodirte Platte getroffen hat, das Silber, wie weiter oben bereits bemerkt worden ist, in Form sehr feiner Kügelchen aus, wodurch das frei gewordene Jod mit dem zurückgebliebenen Silber sich inniger verbindet, während das frei gewordene Silber in seiner so feinen Vertheilung die Quecksilberdämpfe absorbirt, und hierdurch das Erscheinen des Bildes bewirkt.

---

# Vierzehntes Kapitel.

## Elektrizität.

Je tiefer mein Geist sich in die Wunderfülle deiner Werke hinabsenkt, je unergründlicher wird mir dein Reichthum, je unbegreiflicher deine Hoheit. — Wie herrlich stehst du da, Ewiger, im Heiligthum deiner Werke!

Stunden der Andacht.

§ 221. (Namensentstehung.) Wärme und Licht haben uns mit wunderbaren Naturkräften bekannt gemacht, die allenthalben, in Kunst und Wissenschaft eine großartige, höchst wichtige Rolle spielen. Eben so eingreifend ist aber auch eine andere Kraft, auf deren Wirkungen wir nunmehr, so weit die Gränzen dieses Werkes es zulassen, unsere Blicke richten, und die im Allgemeinen elektrische Erscheinungen genannt werden. Was würde jetzt ein Thales von Milet, der vor 2400 Jahren lebte, was würden alle Philosophen seiner und der nachfolgenden Zeiten dazu sagen, wenn sie sehen würden, wohin die zufällige oder absichtliche Beobachtung, welche geriebener Bernstein ihnen darbot, und woraus Thales schon schloß, daß die leblose Natur beseelt seyn müsse, in unserer Zeit gediehen ist, und zu welchem Reichthum von Erkenntnissen sie geführt hat! Tausende von Jahren haben diese Beobachtung nicht weiter gefördert, ja selbst die weitern Beobachtungen, die aber erst im 16. Jahrhundert hinzukamen, und aus denen hervorging, daß außer dem Bernstein auch noch viele andere Körper, wenn sie gerieben werden, dieselben Erscheinungen darbieten, blieben noch geraume Zeit bei der bloßen Bemerkung stehen. Erst im 17. Jahrhundert wurde diesen Erscheinungen die gehörige Aufmerksamkeit zu Theil, und durch die Bemühungen ausgezeichneter Naturforscher sind, seit etwa 100 Jahren, eine Menge der wichtigsten Erfolge bekannt geworden, aus welchen die Lehre von der Elektrizität zur eigentlichen Wissenschaft sich emporhob, die gegenwärtig eine erstaunungswürdige Höhe erreicht hat, und aus welcher wir lernen, daß vielleicht durch das ganze Universum, und wenn auch dieses nicht, doch gewiß für den Erdkörper eine höchst merkwürdige Naturkraft thätig sey, die ganz außerordentliche und wunderbare Erscheinungen hervorzubringen vermöge.



Digitized by Google

Diese Naturkraft, die, wie jede andere, an und für sich nur in den Wirkungen erkannt wird, bei welchen sie mit im Spiele ist, wird die Elektrizität genannt, eine Benennung, welche von der uralten Bemerkung am Bernstein, der griechisch Elektron heißt, hergenommen worden ist.

§ 222. (Reibungselektrizität.) Elektrizität zu erregen und thätig zu machen, gibt es zwar, wie man nunmehr weiß, mehrere Mittel, allein das Mittel, welches von allen zuerst dazu bekannt war, besteht in deren Erregung durch Reibung. Eine trockne Glasstange, die man mit der trocknen Hand oder einem trocknen Flanell reibt, eine trockne, etwas dicke Siegellackstange, die mit einem solchen Flanell gerieben wird, zieht kleine leichte Körperchen, Staub, Papierschnitzchen, Strohhälmchen, Holzspänchen, Kreidebröckchen u. s. w., welche auf einer Tischplatte liegen, an der sie nicht fest kleben oder sonst anhaften, schon in einer gewissen Entfernung an sich, hält sie einige Augenblicke lang fest, stößt sie dann wieder ab, und setzt dieses Spiel so lange fort, so lange die durch die Reibung erregte Elektrizität zu wirken vermag, was freilich immer nur von kurzer Dauer ist. Außer Glas, kann man durch Reibung dieselben Erscheinungen auch im Bernstein und überhaupt in allen Harzen, im Schwefel, in Seide, in Edelsteinen und noch vielen andern Körpern aus allen drei Reichen der Natur zuwege bringen, wenn sie nur trocken sind, mit einem Körper gerieben werden, der dazu passend ist, und die Oberfläche des geriebenen Körpers durch die Reibung nicht verletzt wird.

Das Phänomen der elektrischen Anziehung und Abstoßung ist zwar eines der merkwürdigsten und folgereichsten der erregten Elektrizität, es ist aber keineswegs das einzige, welches man wahrzunehmen Gelegenheit hat. War die Reibung, durch welche die Elektrizität erregt worden ist, rasch und leicht, und ohne einen zu großen Druck, doch etwas stark und anhaltend, und die geriebene Stelle nicht zu klein, so wirkt sie auch auf alle Organe des Sinnvermögens. Denn außer dem eigenthümlichen phosphorartigen Geruch, welchen der geriebene Körper verbreitet, bringt er auch, nahe vor dem Gesicht hin und her bewegt, eine Empfindung zuwege, der vergleichbar, wenn man damit in ein Spinngewebe geräth. Nähert man dem geriebenen Körper einen Fingerknöchel, so fühlt man ein leises Stechen in demselben, hört ein schwaches Knistern und sieht, wenn es dunkel ist, kleine Fünkchen aus dem geriebenen Körper ausströmen. Hält man ihn aber an die Zunge, so empfindet man nicht nur den stechenden Funken, sondern auch einen säuerlichen Geschmack.

Ein jeder Körper, welcher durch Reibung in den Zustand, daß er diese Erscheinungen alle, oder auch nur allein die der elektrischen Anziehung und Abstoßung zu zeigen vermag, versetzt werden kann, wird ein elektrischer Körper, und wenn er diesen Zustand wirklich angenommen hat, elektrisirt genannt. Ob der Grund dieses Zustandes in einem höchst feinen, völlig unwägbaren, unsperrbaren und unsichtbaren elastisch flüssigen Stoff, den man die elektrische Materie nennt, zu suchen sey, bleibt eine Streitfrage. Viele Physiker lassen in der That das Daseyn einer solchen Materie gelten, und nehmen an, daß sie, nach dem verschiedenen Grade der Anziehungskraft, alle irdischen Körper eben so durchdringe, wie dieses von dem von ihnen gleichfalls angenommenen Wärme- und Lichtstoff geschähe. Durch gewisse Veränderungen, die mit den Körpern vorgehen, z. B. durch Reibung und andere Mittel, trete sodann diese Materie aus dem ruhenden und gebundenen Zustand, in

Digitized by Google

welchem ihr Daseyn unwahrnehmbar sey, heraus, und gehe in einen wahrnehmbaren und wirkenden über. Dieser Annahme entgegen steht gegenwärtig eine andere Erklärungsart. Nach dieser ist der elektrische Zustand eine Wirkung solcher Körper auf einander, deren kleinste Theilchen gezwungen werden können in entgegengesetzten Punkten zwei verschiedene Kräfte, die man Polarkräfte nennt, in Thätigkeit zu versetzen.

§ 223. (Elektrisirmaschine.) So lange man aber das Reiben, vermittelst welchem man die Elektrizität erregen muß, nur mit der Hand betreiben konnte, war es auch unmöglich, dieses auf hinlänglich große Körper anwenden zu können. Nicht nur, daß dadurch manche elektrische Erscheinungen gar nicht zur Wahrnehmung kamen, waren auch die, welche man wahrnahm, zu schwach und von zu kurzer Dauer, um deren Wirkungen gehörig und auf allerlei Weise beobachten zu können. Der wahre Zeitpunkt, in welchem die elektrischen Erscheinungen eigentlich erst bekannt wurden, fällt also dahin, wo man Mittel fand, das Reiben mit Hülfe einer Maschine zu verrichten, und in dieser Hinsicht kann man den berühmten Erfinder der Luftpumpe, Otto von Guericke, auch hier wieder den ersten Entdecker nennen, indem er es war, der den physikalischen Apparat mit dieser so wichtigen Maschine, der Elektrisirmaschine, bereicherte. Nach und nach erlitt nun zwar, wie dieses auch mit der Luftpumpe der Fall war, die Maschine allerlei Abänderungen und erhielt mannigfache Verbesserungen, so daß man gegenwärtig sehr große und wirksame Elektrisirmaschinen zu verfertigen versteht, im Allgemeinen bleiben aber immer der geriebene Körper oder der Reiber, der reibende Körper oder das Reibzeug und der Zuleiter, Hauptleiter oder Conductor die wesentlichsten Theile einer jeden Elektrisirmaschine.

Der Reiber kann aus Glas, Pech, Harz, Schwefel u. s. w. bestehen, und der Form nach eine Kugel, ein Cylinder oder eine runde Scheibe seyn. Scheibenmaschinen von geschliffenem Spiegelglas sind jetzt am häufigsten im Gebrauch, da überhaupt Glas am tauglichsten zum Reiber ist. Je größer die Scheibe ist, desto mehr leistet sie auch. Die Scheibe, welche in der Mitte durchbohrt und mittelst einer horizontal liegenden gläsernen Achse von einem hölzernen Gestelle getragen wird, läßt sich durch eine an eben dieser Achse angebrachte Kurbel kreisförmig in einer lothrechten Ebene umdrehen.

Das Reibzeug besteht aus einem mit Roßhaaren ausgestopften und mit Leder überzogenen Kissen, welches an die Scheibe festgeschraubt und durch Federn, so weit es erforderlich ist, angedrückt werden kann. Die Oberfläche des Kissens, an welche sich die Scheibe bei'm Umdrehen reibt, wird mit etwas Fett bestrichen, und darauf ein gepülvertes trocknes, metallisches Amalgama möglich gleichförmig eingerieben, denn die Erfahrung hat gezeigt, daß Glas am stärksten elektrisirt wird, wenn es an gewisse Metalle sich reibt. Das Kienmayer'sche Amalgama, aus einem Theile Zinn, einem Theile Zink und zwei Theilen Queckſilber bestehend, ist vorzüglich gut. Gewöhnlich hat man zu einer Scheibe, besonders wenn sie etwas groß ist, vier solche Kissen, welche man paarweise an den Umfang der Scheibe gegeneinander über befestigt. Auch näht man an jedes Kissen ein Stück Wachstaffet an, welches sich bei'm Umdrehen an die Scheibe anlegt, wodurch deren Elektrizität erhöht, besser zusammengehalten und vor dem Zutritt der Luft, die sie ableitet, geschützt wird. Als Reibzeug zu einem harzigen Reiber eignet sich ein kurzhaariges Katzenfell. Im Uebrigen

Digitized by Google

ist der Bau und die Größe der Elektrisirmaschinen sehr verschieden; manche sind zum Anschrauben an Tische eingerichtet, die vorzüglichern stehen auf dem Erdboden fest, und ruhen auf Glasfüßen.

Der Conductor (Fig. 194) ist ein hohler Cylinder von Messing-

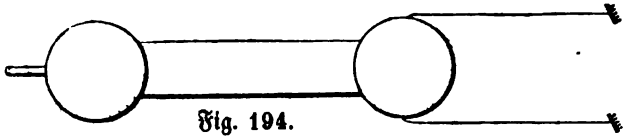


Fig. 194.

blech, dessen beide Enden abgerundet sind. Mit dem Gestell der Elektrisirmaschine steht der Conductor in keiner Verbindung, und mit der Scheibe, oder dem sonstigen Reiber, ist er bloß dadurch verbunden, daß ein Paar runde messingblecherne Arme, die in Spitzen oder Cylinder auslaufen, und die man die Saugspitzen oder Einleiter nennt, bis nahe an die Scheibe hinreichen. Außer diesen Spitzen muß aber der Conductor sonst überall wohl abgerundet seyn, und nirgends mehr weder Spitzen, noch hervorspringende Ecken haben, und muß, was ebenfalls ein Hauptumstand ist, auf gläsernen Fußen ruhen. Da der Conductor eigentlich einen Behälter bildet, in welchem sich die durch Reibung erregte Elektrizität sammeln und anhäufen soll, um sie von hier aus zu weitern Versuchen verwenden zu können, so ist er hierzu um so geeigneter, je größer sein Durchmesser ist, je mehr er Fläche hat.

Mit einer Elektrisirmaschine lassen sich die elektrischen Erscheinungen, von denen die Rede war, viel deutlicher wahrnehmen, als dieses bei der Reibung ohne solche Maschine möglich ist. Auch läßt sich die merkwürdige Erscheinung der elektrischen Anziehung und Abstoßung auf eine sehr lehrreiche Art schon dadurch bemerklich machen, daß man Korkkügelchen, die an Fäden hängen, der Scheibe nähert, nachdem diese einige Mal umgedreht worden ist. Hängt nämlich das Kügelchen an einem Faden von reiner trockener Seide, so wird es von der Scheibe angezogen, bleibt einige Augenblicke daran hängen, dann wird es abgestoßen. Ohne es erst auf's neue wieder anzuziehen, wenn man es abermals der Scheibe nähert, stößt sie es vielmehr jetzt fortdauernd ab, und zieht es nur dann erst wieder an, wenn es vorher mit dem Finger berührt worden ist. Hängt aber das Kügelchen an einem leinenen Faden, so wird es wohl von der Scheibe angezogen, aber nicht wieder abgestoßen, besonders dann nicht, wenn der Faden feucht ist. Aber nicht nur die Scheibe, auch der Conductor zeigt diese elektrischen Erscheinungen alle, sobald die Scheibe einige Mal umgedreht worden ist. Der Funke aber, den man aus dem Conductor zieht, ist knisternder, stechender und größer, als der aus der Scheibe, und läßt sich, wenn die Luft recht trocken ist, auch in weit größerer Entfernung aus ihm ziehen.

§ 221. (Elektrische Leiter.) Hierbei läßt sich aber auch eine neue, höchst merkwürdige Erscheinung wahrnehmen, durch welche ein auffallender Unterschied in dem Verhalten des Glases und des Metalls zur Elektrizität bemerklich wird. Wenn man nämlich die Scheibe einige Mal umgedreht hat, so zeigt sich zwar der Conductor, welcher auf die angegebene Weise aufgestellt und mit der Scheibe verbunden ist, in seinem ganzen Umfang gleichmäßig elektrisirt, allein durch einen einzigen Funken, den man mit dem Finger, und besonders mit einem metallischen Körper, aus ihm zieht,

Digitized by Google

verliert er auch sogleich alle gesammelte Elektrizität auf einmal wieder. Bei der Scheibe aber ist es anders; diese gibt ihre Elektrizität nur an der Stelle ab, an welcher sie berührt wird, während andere Stellen derselben ihre Elektrizität behalten. Glas wird auch nur an den geriebenen Stellen elektrisirt, und die Theile der Oberfläche, die nicht mit gerieben werden, gerathen nicht in diesen Zustand. Die geriebenen Stellen halten aber die in ihnen durch das Reiben erregte Elektrizität eine kurze Zeit lang fest, und leiten sie nicht leicht fort. In dieser letztern Beziehung wird daher Glas ein Nichtleiter der Elektrizität genannt. Metall hingegen braucht nur an einem einzigen Punkt in den elektrischen Zustand zu gerathen, um augenblicklich über seine ganze Oberfläche in gleichem Grad elektrisirt zu seyn, allein es läßt auch seine ganze Elektrizität augenblicklich wieder fahren und leitet sie andern Körpern sehr leicht zu. In dieser Hinsicht wird Metall ein Leiter der Elektrizität genannt. Darum muß auch der Conductor, in welchem sich die Elektrizität sammeln und anhäufen soll, auf Glas gestützt, und überhaupt außer aller Verbindung mit andern Körpern seyn, welchen er seine Elektrizität abgeben könnte.

Glas, welches ein vorzüglicher Nichtleiter, und Metall, welches ein vorzüglicher Leiter der Elektrizität ist, sind jedoch nicht die einzigen Körper, welche ein solches Verhalten gegen die Elektrizität äußern. Die Erfahrung hat vielmehr gezeigt, daß eben so wie die Körper in Hinsicht ihres Verhaltens zur Wärme theils gute, theils schlechte Leiter, in Hinsicht ihres Verhaltens zum Licht theils durchsichtig, theils undurchsichtig sind, eben so sind sie auch in Hinsicht ihres Verhaltens zur Elektrizität theils Nichtleiter, theils Leiter derselben.

Zu den Nichtleitern gehören, außer Glas und alle Verglasungen, auch alle Harze (z. B. Bernstein, Siegellack, Pech, Colophonium ꝛc.), Erden, harte Steinarten, besonders Edelsteine, Schwefel, Wachs, gedörrtes Holz, besonders solches, welches am Feuer gedörrt worden ist, Seide, Haare, Wolle, Baumwolle, Federn, fette Oele, Papier, Zucker, Asche u. a. m. Zu den Leitern gehören, außer den Metallen, unter welchen Kupfer und Messing in dieser Hinsicht oben an stehen, auch die Kohle, das Wasser, sowohl im tropfbaren Zustand, als im dampfförmigen, der lebende thierische und Pflanzenkörper, feuchte Substanzen, Staub und der Erdboden. Die atmosphärische Luft gehört, wenn sie recht trocken ist, zwar zu den Nichtleitern, je feuchter sie aber wird, je mehr wird sie auch leitend. Darum auch elektrische Versuche bei feuchter Luft, oder in einem Zimmer, wo die Luft mit vielen Dünsten beladen ist, nicht gut gelingen können. Eis ist ebenfalls ein Leiter, sehr hartes Eis aber ist ein Nichtleiter. Ueberhaupt kennt man über die Eigenschaften der Körper, die Elektrizität zu leiten und nicht zu leiten, weder ein allgemeines Gesetz, noch eine genaue Gränze, und so wie das leitende Wasser als hartes Eis zum Nichtleiter wird, so werden dagegen Glas und Harz, welche sehr gute Nichtleiter sind, wenn sie schmelzen, zu Leitern. Körper, welche weder vollkommne Leiter, noch vollkommne Nichtleiter sind, wie Papier, Baumwolle, Marmor, Elfenbein, Wachstuch u. s. w., pflegt man Halbleiter zu nennen. Ganz vollkommne Nichtleiter, d. h. solche, welche weder Elektrizität von andern Körpern empfangen, noch die in ihnen erregte andern Körpern gar nicht abgeben, gibt es aber unter allen bekannten Körpern nicht, indem auch die besten Nichtleiter noch immer einige

Digitized by Google

Leitungsfähigkeit, obgleich nur in sehr geringem Grade, besitzen. Eben so wenig gibt es aber auch ganz vollkommne Leiter der Elektrizität.

Lange Zeit hindurch glaubte man, daß nur die guten Nichtleiter der Elektrizität, nicht aber die Leiter, die Fähigkeit besäßen, durch Reiben elektrisirt zu werden, und nannte daher jene elektrische, ursprünglich elektrische, auch idioelektrische Körper, diese hingegen hießen unelektrische, symperielektrische Körper. Seitdem man aber durch Versuche gefunden hat, daß auch die Leiter durch Reiben elektrisirt werden können, obgleich nur sehr schwach, in so fern sie nur von allen andern Leitern vollkommen getrennt sind, ist dieser Unterschied nicht mehr an seinem Platze, und die angegebenen Benennungen werden nur noch gebraucht, um sich bei gewissen Untersuchungen verständlich, wenn schon nicht der Wahrheit gemäß, ausdrücken zu können. Wahr bleibt es aber immer, daß kein Leiter in den elektrischen Zustand, sey es auf was für eine Weise, versetzt werden kann, wenn er nicht von allen andern Leitern ganz und gar getrennt, und nur mit Nichtleitern in Verbindung ist. Man nennt dieses das Isoliren, die Nichtleiter werden daher auch Isolatoren, und ein Gestell, durch welches ein Leiter isolirt werden kann, ein Isolatorium genannt. Glas ist, als der vorzüglichste Nichtleiter, zum Isoliren am besten, da es aber bei feuchter Luft selbst gerne feucht wird, und Feuchtigkeiten die Elektrizität leiten, so ist es gut gethan, die Glasfüße der Isolatorien noch mit einem harzigen Ueberzug zu versehen, und überhaupt den elektrischen Apparat jedesmal wohl zu reinigen und zu durchwärmen, und den Conductor recht blank und polirt zu erhalten. Verbindet man den Conductor durch ein Metallkettchen mit dem Erdboden, oder berührt ihn Jemand, der auf dem Erdboden steht, so hört er auf, isolirt zu seyn, und kann daher bei dem Umdrehen der Scheibe nicht im mindesten elektrisirt werden.

Außer der materiellen Beschaffenheit der Körper hat aber auch deren Gestalt Einfluß auf die Leitungsfähigkeit derselben. Leiter, die Spitzen und Ecken haben, lassen auch isolirt die aufgenommene Elektrizität durch diese Spitzen und Ecken wieder ausströmen, während dagegen platte und wohl abgerundete Flächen die Elektrizität festhalten. Spitzen und Ecken sind daher bei einem Conductor wie Löcher in einem Wasserbehälter anzusehen, und eben darum darf auch der Conductor, außer den Saugspitzen, dergleichen sonst nirgendwo haben. Befestigt man an dem Conductor ein spitzes Metallstäbchen, dessen Spitze gegen die Luft gekehrt ist, so wird man ihn nicht sehr stark zu elektrisiren vermögend seyn, und er wird nur schwache Funken geben. Ist er aber wohl abgerundet, so wird der Funke viel stärker und schlagender.

§ 225. (Entgegengesetzte Elektrizitäten.) Wenn man zwei Glasstangen durch Reiben elektrisirt und nun ein Kork- oder Hollundermarkkügelchen, das an einem Faden von reiner trockner Seide hängt, mithin isolirt ist, einer dieser Stangen nähert, so wird es von dieser angezogen, und sogleich wieder abgestoßen. Nähert man es jetzt auch der andern Stange, ohne das Kügelchen erst mit dem Finger zu berühren, wodurch es aufhört, isolirt zu seyn, so wird es von dieser gar nicht angezogen, sondern nunmehr von beiden elektrisirten Stangen so lange immerfort abgestoßen, als diese in dem elektrischen Zustand sich befinden. Nimmt man zwei solche isolirte Kügelchen, und läßt das eine von der einen Stange, das andere von der andern Stange anziehen, so stoßen sich die beiden Kügelchen

Digitized by Google

selbst einander ab, wenn man sie zusammen bringt. Die nämlichen Erscheinungen bieten sich dar, wenn man, statt der Glasstangen, zwei Siegellackstangen elektrisirt. Nimmt man aber zu dem Versuch eine Glasstange und eine Siegellackstange, so wird ein isolirtes Kügelchen, welches die elektrisirte Glasstange abstößt, von der elektrisirten Siegellackstange angezogen, und umgekehrt. Zwei isolirte Kügelchen, von denen das eine von der elektrisirten Glasstange, das andere von der elektrisirten Siegellackstange abgestoßen worden ist, ziehen sich, einander genähert, auch sogleich wechselseitig an, und verlieren dabei ihren elektrischen Zustand, wenn sie gleich stark elektrisirt waren.

Aus diesen merkwürdigen Versuchen geht demnach hervor, daß die Elektrizität des Glases und die des Siegellacks die auffallende Eigenthümlichkeit habe, diejenige zu fliehen, die ihr gleichartig ist, dagegen von der angezogen zu werden, mit welcher sie keinen gleichartigen elektrischen Körper gemein hat, obgleich jede dieser Elektrizitäten für sich allein der Wirkung nach dieselbe ist. Dü Fay, ein französischer Naturforscher, hat diese Entdeckung, aus welcher nachgehends die Erklärungen der wunderbaren elektrischen Erscheinungen hervorgingen, in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zuerst gemacht, und angenommen, daß es zwei Arten von Elektrizität gebe. Die eine, bei welcher Glas der geriebene Körper ist, nannte er die Glaselektrizität, und diese pflegt man mit G zu bezeichnen. Die andere, bei welcher Siegellack und überhaupt Harz der geriebene Körper ist, nannte er Harzelektrizität, und diese wird durch H bezeichnet. Der als Staatsmann und Physiker gleich berühmte Amerikaner, Benjamin Franklin, der schon durch den im Jahre 1749 erfundenen Blitzableiter seinen Namen in ganz Europa verherrlichte, setzte Dü Fay's Entdeckung mit großem Eifer fort, und nannte die Glaselektrizität die positive, die des Harzes die negative Elektrizität, wofür unser berühmter Landsmann, der verstorbene Professor Lichtenberg, die Zeichen + E und — E eingeführt hat, und die man allgemein entgegengesetzte Elektrizitäten nennt.

In den Erscheinungen des Anziehens und Abstoßens wird immer der Hauptunterschied beider Elektrizitäten bemerklich, und hieraus leitet man auch das Hauptgesetz der Elektrizität ab, welches folgendes ist:

Gleichartige Elektrizitäten stoßen sich einander ab, ungleichartige (entgegengesetzte) ziehen aber einander an.

In Zeichen pflegt man dieses Gesetz auch so auszudrücken:

G und G, H und H, stoßen sich ab;
G und H aber ziehen sich an.

oder auch so:

+ E und + E; — E und — E stoßen sich ab;
+ E und — E ziehen sich an.

Da man jetzt weiß, daß die beiden Arten von Elektrizitäten immer zugleich zum Vorschein kommen, die eine in dem geriebenen Körper, die andere in dem Reibzeug, so kann man eine Elektrisirmaschine so einrichten, daß sie zu Versuchen über das Daseyn dieser beiden Elektrizitäten gebraucht werden kann.

Will man nämlich den Conductor bloß positiv elektrisiren, so bringt man ihn auf die angegebene Weise (§ 222) mit der Scheibe der Maschine in Verbindung, und leitet, damit die Elektrizität der Scheibe durch die ihr entgegengesetzte des Reibzeugs nicht geschwächt werde, diese letztere ab,

Digitized by Google

welches dadurch geschieht, daß man von dem Reibzeug eine Metallkette auf den Erdboden herabhängen läßt. Will man aber den Conductor bloß negativ elektrisiren, so muß man ihm andere Arme einsetzen, durch welche er mit dem Reibzeug, wie vorhin mit der Scheibe, in Verbindung kommt, sodann dieses isoliren, dagegen aber die Scheibe in metallische Verbindung mit dem Erdboden bringen, und auch sonst noch die in ihr rege werdende Elektrizität durch Metallspitzen so viel als möglich ableiten. Wird nunmehr die Scheibe gedreht, so wird der Conductor negativ elektrisirt. Dieses kann man durch ein oder zwei isolirte Kügelchen, wie bereits erwähnt wurde, leicht inne werden. Da nämlich die Scheibe, ungeachtet der angebrachten Ableitung, als ein guter Nichtleiter, noch immer einige Glas- oder positive Elektrizität behält, so wird ein isolirtes Kügelchen, das nunmehr der Conductor abgestoßen hat, von der Scheibe angezogen, und umgekehrt. Zwei isolirte Kügelchen, von welchen das eine von dem negativ elektrisirten Conductor, das andere von der Scheibe abgestoßen worden ist, ziehen sich, einander genähert, auch sogleich an.

Auch daraus, daß ein isolirtes Kügelchen, welches von einer elektrisirten Glasstange angezogen, dann abgestoßen worden ist, auch von dem Conductor abgestoßen wird, in so fern er mit der Scheibe in Verbindung ist, sieht man, daß er in dieser Verbindung die Glas- oder positive Elektrizität hat, und nennt ihn deßhalb auch den positiven Conductor. Ein isolirtes Kügelchen, welches durch eine geriebene Siegellackstange elektrisirt worden ist, wird daher von dem positiven Conductor angezogen, nachdem diese es abgestoßen hat. Hingegen aber wird ein isolirtes Kügelchen, welches von einer elektrisirten Siegellackstange abgestoßen worden ist, auch von dem Conductor des Reibzeugs abgestoßen, woraus sich schließen läßt, daß er in Verbindung mit dem Reibzeug die Harz- oder negative Elektrizität angenommen haben muß. Der Conductor des Reibzeugs heißt daher der negative Conductor. Ein isolirtes Kügelchen, welches von einer elektrisirten Glasstange abgestoßen worden ist, wird vom negativen Conductor angezogen.

Die Elektrizität des negativen Conductors ist indessen gewöhnlich um Vieles schwächer, als jene des positiven. Da aber dieser Umstand wahrscheinlich bloß daher rührt, daß man nicht im Stande ist, die Elektrizität der Scheibe so vollständig abzuleiten, daß jene des Reibzeugs um nichts geschwächt werde, so läßt sich auch aus dieser Erscheinung nicht folgern, daß die negative Elektrizität an und für sich von geringerer Wirkung, als die positive sey.

Man hat übrigens auch gefunden, daß Glas negativ, Harz positiv elektrisirt wird, wenn sich die Beschaffenheit des Reibzeugs ändert. Jenes wird negativ elektrisirt, wenn man es mit einem Katzenfell reibt, dieses positiv, wenn es mit Schwefel oder Amalgama gerieben wird.

Eine anderweitige merkwürdige Verschiedenheit der entgegesetzten Elektrizitäten, obgleich von geringer Zuverlässigkeit, kann man im Finstern wahrnehmen, wenn man die Lichtgestalten bemerkt, welche bei dem Ausströmen der Elekrizität durch Spitzen zum Vorschein kommen. Wenn man nämlich mit einem spitzen messingenen Stift dem positiv elektrisirten Conductor nahe kommt, so zeigt sich an der Spitze des Stifts, noch in ziemlicher Entfernung vom Conductor, ein leuchtender Stern, der zwar nicht größer, aber immer lebhafter wird, je näher man dem Conductor kommt. Setzt man aber den Stift mit seinem stumpfen Ende

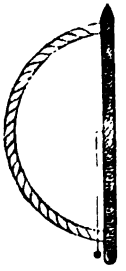
Digitized by Google

in eine kleine Oeffnung des Conductors ein, und nähert dessen hervorstehender Spitze die Hand, oder irgend einen Leiter, so sieht man, statt des Sterns, einen leuchtenden Pinsel ausströmen. Ist aber der Conductor negativ elektrisirt, so dreht sich die Erscheinung um. Bei dem erst angegebenen Versuche kommt nunmehr der leuchtende Pinsel, bei dem andern aber der leuchtende Stern zum Vorschein.

Noch besonders wird bei dem Versuche mit dem leuchtenden Pinsel die Aufmerksamkeit auf ein Blasen gelenkt, welches um den Pinsel her statt hat, und das dem Wehen eines sanften Windes vergleichbar ist, was man den elektrischen Wind zu nennen pflegt. Mit einer Lichtflamme, die man dem Pinsel vorhält, kann man dieses Blasen sehen, an der Hand kann man es fühlen. Durch die Ausströmung aus der Spitze des Stifts, der auf dem Conductor angebracht ist, wird aber die Luft um den Conductor herum ebenfalls elektrisirt. In diesem Zustand, wo sie mit dem Conductor gleichartige Elektrizität besitzt, wird sie von ihm abgestoßen, und eben so stoßen sich auch die elektrisirten Luftschichten unter einander selbst ab, und gerathen in Bewegung. In den feinen Härchen der Gesichtshaut verursacht denn dieses Blasen jenes Gefühl, als ob man mit dem Gesicht in ein Spinnengewebe gerathe.

§ 226. (Elektrometer.) Auf dem Gesetz, daß gleichartige Elektrizitäten sich abstoßen, entgegengesetzte sich anziehen, beruht die Verfertigung von Werkzeugen, mit welchen man schätzen oder messen kann, ob sich die Elektrizität in einem Körper verstärke, und ob sie eine positive oder negative sey. Ein solches Werkzeug wird ein Elektrometer oder Elektroskop genannt, und obgleich diese Werkzeuge keine Vollständigkeit besitzen, so sind sie doch bei vielen Versuchen nicht leicht zu entbehren. Es gibt vielerlei Arten solcher Elektrizitätsmesser; einige dienen besonders dazu, eine sehr schwache Elektrizität kennbar zu machen, wo sie dann Mikroelektrometer heißen, während andere, die man Mekaelektrometer nennt, umgekehrt zur Messung einer starken Elektrizität eingerichtet sind. Luftelektrometer dienen besonders zur Untersuchung der atmosphärischen Elektrizität. Sehr einfach ist das Fadenelektroskop. Dieses besteht aus zwei Kügelchen von Kork oder Hollundermark an leinenen Fäden, die zusammen an einem seidenen Faden hängen. Werden sie an einem elektrisirten Körper angehängt, so gehen sie, je mehr dessen Elektrizität zunimmt, auch desto weiter auseinander. Genauer ist das Quadrantelektrometer von Henley. Es besteht dieses Elektrometer aus einem Halbkreis von Elfenbein oder Glas (Fig. 195), der in Grade eingetheilt, und an einer senkrechten Säule von nicht gedörrtem Holz, am besten von Burbaum, befestigt ist. Ein Korkkügelchen hängt vom Mittelpunkt des Halbkreises pendelartig und parallel mit der Säule herab. Wird nun das Elektrometer durch irgend eine passende Vorrichtung auf einen elektrisirten Körper, z. B. auf den Conductor der Elektrisirmaschine, gesetzt, so nimmt es auch dessen Elektrizität an, Säule und Pendel werden dann ebenfalls gleichartig und gleich stark elektrisirt, daher dieses von jener abgestoßen wird. Das Pendel steigt nun an dem graduirten Kreisbogen hinauf, um so höher, je stärker die Elektrizität ist, deren Zunahme sich dann an den Graden messen läßt.

Fig. 195.



Außer diesen beiden Elektrometern hat man auch Elektrometer von Goldblättchen, Strohhälmchen und noch viele andere.

Digitized by Google

Daß man ein Elektrometer auch gebrauchen kann, um zu erforschen, ob ein anderer Körper positiv oder negativ elektrisirt sey, leuchtet einem bald ein. Man darf z. B. nur das Fadenelektrometer positiv elektrisiren, und dann in die Nähe des Körpers bringen, dessen Elektrizitätsart man erforschen will. Ist sie auch positiv, so gehen die Kügelchen noch weiter auseinander; ist sie aber negativ, so gehen die Kügelchen zusammen.

§ 227. (Elektrizitäts-Theorien.) Es läßt sich leicht denken, daß seit der Zeit, wo man anfing, die elektrischen Erscheinungen näher zu untersuchen, und besonders seit der Erfindung der Elektrisirmaschine, kein ausgezeichneter Physiker diese Erscheinungen an sich vorübergehen ließ, ohne an deren Erklärungen sich zu versuchen. Durch die ungemein raschen Fortschritte, welche in diesem Zweig der Naturlehre seit der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts gemacht wurden, haben aber die früheren Erklärungsarten, als unstatthaft und unzureichend, ihren Werth schnell wieder verloren, und andern Platz machen müssen, die mehr dem Wesen dieser Erscheinungen zu entsprechen vermochten. Zwei dieser Erklärungsarten, von denen die eine die Hypothese oder das System der Unitarier, die andere die Hypothese oder das System der Dualisten genannt wird, haben unter allen andern die beifälligste Aufnahme gefunden, und bis auf die neueste Zeit, wo man zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen zwei Polarkräfte gelten läßt (§ 222) ein vorzügliches Bürgerrecht in der Physik erlangt.

Nach dem unitarischen Systeme, welches auch nach seinem Erfinder das Franklin'sche genannt wird, sind alle elektrische Erscheinungen als Wirkungen einer einzigen Materie zu betrachten, die von unendlicher Feinheit ist, und deßhalb durch alle Körper sich zu verbreiten vermag. Die Theilchen dieser elektrischen Materie haben das eigenthümliche Bestreben, sich untereinander abzustoßen, werden aber von allen Körpern angezogen, jedoch, nach dem verschiedenen Grad der Verwandtschaft, von einem Körper mehr, von einem anderen weniger, so daß jeder Körper irgend eine bestimmte Menge von dieser Materie enthalten kann. Dieser Zustand, den Franklin den natürlichen Zustand der Elektrizität eines Körpers nannte, ist also der Zustand des Gleichgewichts, und so lange dieser dauert, ist der Körper mit elektrischer Materie gesättigt, und keine elektrische Erscheinung wahrzunehmen. Tritt aber ein Körper aus diesem Zustand heraus, dadurch, daß sich die elektrische Materie in ihm anhäuft und er übersättigt wird, so ist er elektrisirt, und zwar in diesem Falle positiv. Wird hingegen einem Körper von der elektrischen Materie, die er in seinem natürlichen Zustand zu enthalten vermag, etwas entzogen, so hört das Gleichgewicht abermals auf, und nun ist der Körper wiederum elektrisirt, aber seine Elektrizität ist jetzt negativ. Eine jede elektrische Erscheinung ist also nichts Anders, als ein Bestreben, das aufgehobene elektrische Gleichgewicht wieder herzustellen, nur daß die positive Elektrizität einen Ueberfluß, die negative einen Mangel anzeige.

Es ist unläugbar, daß viele elektrische Erscheinungen mit Hülfe dieser Hypothese erklärbar werden. Wird Glas gerieben, so wird dadurch dem Reibzeug elektrische Materie entzogen, die sich sodann, da Glas ein guter Nichtleiter ist, auf dessen Oberfläche anhäuft. Das Glas wird also durch die Uebersättigung positiv, das Reibzeug, durch den Abgang, negativ elektrisirt. Ist dabei das Reibzeug isolirt, so kann das Glas darum nicht stark elektrisirt werden, weil der Vorrath elektrischer Materie, welche in

Digitized by Google

dem Reibzeug enthalten ist, durch das Reiben bald erschöpft wird. Deßhalb muß man, um dem Glas einen beliebig hohen Grad von Elektrizität ertheilen zu können, das Reibzeug durch einen Leiter mit dem Erdboden verbinden. In dem Maße, wie es nun seine Elektrizität dem Glase abgibt, wird ihm dann immer wieder neue aus dem Erdboden zugeführt, wodurch es stets seinen natürlichen Zustand behält. Ist das Glas oder der positive Conductor und auch das Reibzeug in leitender Verbindung mit dem Erdboden, so kann gar keine Elektrizität bemerkbar werden, weil in diesem Falle jeder Zufluß derselben im Glase oder dem Conductor auch sogleich wieder abgeleitet, und jeder Abgang im Reibzeug auch sogleich wieder ersetzt wird, und ein noch so anhaltendes Reiben in diesem Falle keine Störung des Gleichgewichts bewirken kann. Auch in dem Falle, wo der positive Conductor zugleich mit dem Reibzeug in leitender Verbindung ist, kann keine Elektrizität bemerkbar werden, weil er immer die Elektrizität, die ihm das Glas zuführt, wieder an das Reibzeug abgibt. Ist das Glas in leitender Verbindung mit dem Erdboden, das Reibzeug hingegen isolirt, so wird die Anhäufung der elektrischen Materie auf dem Glase auch wieder abgeleitet, und das Reibzeug, welches jetzt einen Mangel an seinem natürlichen Zustand hat, ist negativ elektrisirt. Aus dem Bestreben der elektrischen Materie, ihr aufgehobenes Gleichgewicht wieder herzustellen, erklären sich auch die erwähnten sonderbaren Lichterscheinungen (§ 225). Aus der Spitze im positiven Conductor strömt, des Ueberflusses wegen, Elektrizität aus, die Feuerbüschel sind dann lang und stark, und bekommen dadurch die Form eines Pinsels. Die Spitze im negativen Conductor aber, welche aus Mangel elektrisirt ist, sucht dem Körper, den man ihr nähert, Elektrizität zu entreißen, die nun, aber freilich nur in geringer Menge, in ihr einströmt, die Feuerbüschel sind dann kurz und schwach, nur stern- oder punktartig. Der Funke, den man aus dem positiven Conductor erhält, wenn man ihm einen Leiter nähert, fährt demnach aus diesem Conductor heraus, allein der Funke, den man bei der Näherung eines Leiters gegen den negativen Conductor wahrnimmt, kommt aus dem Leiter und fährt in den Conductor hinein, um den Mangel zu ersetzen.

Dieses Ausströmen des elektrischen Lichts in dem einen, so wie dessen Einströmen in dem andern Fall, ist aber nicht nur, bei der ungeheuern Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegung erfolgt, an und für sich gar nicht mehr zu beobachten möglich, sondern auch mit dem Blasen nicht wohl vereinbarlich, da dieses allemal, sowohl bei positiver als negativer Elektrizität, wenn gleich bei letzterer etwas schwächer, von der Spitze abwärts geht, wodurch doch offenbar in beiden Fällen Elektrizität auszuströmen scheint. So einfach daher auch das Franklin'sche System die hier angegebenen elektrischen Erscheinungen zu erklären vermag, so hat es doch hierin einem Einwurf zu begegnen, den es schwer von sich abwehren kann.

Woher es endlich komme, daß zwei Körper mit gleichartiger Elektrizität sich anziehen, mit ungleichartiger sich abstoßen, sucht man nach diesem System auf folgende Weise zu erklären: Sind beide Körper positiv elektrisirt, so strömt aus beiden elektrische Materie aus, die sich, wenn die Körper sich nähern, um diese herum drängt und anhäuft, daher sie auseinander treibt und zurückstößt. Kommt aber ein positiv elektrisirter Körper in die Nähe eines negativ elektrisirten, so strömt die Ueberfüllung des einen Körpers in den andern über, und es erfolgt eine Anziehung. In

Digitized by Google

dem Falle endlich, wo beide Körper negativ elektrisirt sind, liegt zwischen beiden eine elektrische Materie im natürlichen Zustand. Da diese aber dichter ist, als die negative Elektrizität der Körper, so sucht sie sich auszubreiten, und treibt die Körper auseinander.

Daß auch diese Erklärungsart etwas gezwungen und unbefriedigend ist, kann nicht verkannt werden, und dieses eben hat viele Physiker bewogen, die elektrischen Erscheinungen lieber nach dem dualistischen System, welches man auch nach seinem Erfinder, Robert Symmer, das Symmer'sche nennt, zu erklären. Nach diesem Systeme sind alle diese Erscheinungen Wirkungen zweier elektrischer Materien, die sich, der Verwandtschaft wegen, die sie zusammen haben, schon in ziemlicher Entfernung einander anziehen, sich auch überall, wo sie frei werden und kein Hinderniß finden, schnell und heftig miteinander vereinigen, während hingegen jede ihre eigenen Theilchen abstößt. Von diesen beiden Elektrizitäten, von welchen zwar jede für sich allein von gleicher Wirkung ist, wie die andere, wird dann die eine die positive, die andere die negative genannt. So lange nun beide Elektrizitäten in einem Körper miteinander verbunden sind, neutralisiren sie sich wechselseitig, und so lange dieser gebundene Zustand, den man als den Nullzustand ansehen kann, vorhanden ist, zeigt sich auch keine Spur irgend einer elektrischen Erscheinung. Wird aber dieser Zustand auf irgend eine Weise aufgehoben, und dadurch beide Elektrizitäten von einander getrennt, so zeigen sich die Körper elektrisirt.

Aus dieser Hypothese, die zwar, wegen der Annahme zweier elektrischen Stoffe, weniger einfach ist, als die Franklin'sche, welche nur auf der Annahme eines einzigen elektrischen Stoffes beruht, lassen sich jedoch die elektrischen Erscheinungen, zumal ihrem gegenwärtigen Umfange nach, ungezwungener und passender erklären. Reiben ist eines der Mittel, die in den Körpern gebundenen entgegengesetzten Elektrizitäten von einander zu trennen. Wird nun Glas mit Amalgama gerieben, so werden die im Glase und im Reibzeug ruhenden Elektrizitäten erregt, die positive Elektrizität des Glases lagert sich auf die Oberfläche des Glases, die negative des Reibzeugs auf die Oberfläche des Reibzeugs. Welche der beiden Elektrizitäten auf die Oberfläche des Reibers und des Reibzeugs übergeht, hängt vielleicht von der Verwandtschaft dieser beiden Körper zu der einen und der andern der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten ab. Indessen ist noch kein allgemeines Gesetz bekannt, nach welchem dieses bestimmt werden könnte. Die auf der Oberfläche des Glases freie positive und die auf der Oberfläche des Reibzeugs freie negative Elektrizität kommen sich entgegen, können sich aber, da das Reibzeug in leitender Verbindung mit dem Erdboden ist, wodurch ihm immer der innere Abgang wieder ersetzt wird, nicht mit einander vereinigen, und sinken, so wie das Reiben aufhört, wieder in den gebundenen Zustand zurück. So lange aber das Reiben dauert, wird nun auch in dem der Scheibe zugehörigen Conductor die Elektrizität erregt, und er wird ebenfalls, wenn er isolirt ist, positiv elektrisirt, da er seinen negativen elektrischen Bestandtheil dem am Glase haftenden freien positiven Bestandtheil abgibt. Eben so lassen sich auch die Erscheinungen in Beziehung auf den negativen Conductor ohne Schwierigkeit erklären, so wie die übrigen Erscheinungen, welche bereits in der Franklin'schen Hypothese angeführt worden sind. Nähert man dem positiven Conductor einen Leiter, so vereinigt sich seine freie positive Elektrizität

Digitized by Google

mit der negativen des Leiters sehr schnell und heftig, wodurch dann der schlagende Funke entsteht. Nähert man einen Leiter dem negativen Conductor, so vereinigt sich dessen freie negative Elektrizität mit dem positiven des Leiters auf gleiche Weise, und der Erfolg ist auch derselbe.

Es ist übrigens nicht in Abrede zu stellen, daß auch diese Hypothese noch manche Lücke hat und viel zu wünschen übrig läßt, und daß auch die Erscheinung mit den Lichtbüscheln nach diesem Systeme nicht so leicht als nach dem vorigen erklärbar wird, dagegen ist aber die Erscheinung der elektrischen Anziehung und Abstoßung nach diesem System sehr einfach zu erklären, indem diese Erscheinung eigentlich die Grundlage der ganzen Hypothese ist. Daß gleich starke und ungleichartige Elektrizitäten sich wechselseitig gänzlich zernichten müssen, bei ungleicher Stärke aber die schwächere immer einen analogen Theil der stärkern aufheben muß, geht ebenfalls sehr leicht aus dieser Hypothese hervor.

Beide Hypothesen gehören übrigens dem atomistischen System an. Nach dem dynamischen aber, welches auch hier wieder, wie bereits in den Kapiteln von der Wärme und dem Lichte gezeigt worden ist, die elektrischen Erscheinungen aus der Thätigkeit der beiden Grundkräfte zu erklären sucht, sind diese Erscheinungen bloß Folgen dynamischer Bewegungen, welche theils in den elektrisirten Körpern, theils in der Luft und den Feuchtigkeiten, welche zwischen zwei elektrisirten Leitern sich befinden, vorgehen. Positive Elektrizität ist dann der überwiegenden Dehnkraft, negative der überwiegenden Anziehungskraft zuzuschreiben, und da sich gleichnamige Kräfte nicht dulden, so stoßen sich auch die gleichnamigen Elektrizitäten ab. Die entgegengesetzten Kräfte, welche sich einander anziehen, verursachen auch die Anziehung beider Elektrizitäten.

§ 228. (Schlagweite.) Isolirte Leiter, die unter sich und mit dem Conductor verbunden sind, machen mit diesem ein Ganzes aus, und werden insgesammt wie der Conductor elektrisirt, was man mitunter auch die Mittheilung der Elektrizität zu nennen pflegt, durch welche jedoch das Gewicht der Körper nicht im mindesten verändert wird, obgleich man annehmen könnte, daß die Polarität der elektrischen Kräfte in den Theilchen des Körpers, dem Elektrizität mitgetheilt wurde, sich gesteigert habe. Der Funke aber, den man einem elektrisirten Leiter durch einen nichtelektrisirten entlocken kann, ist jedoch stärker und heftiger, wenn beide Leiter nicht in unmittelbarer Berührung sind, sondern die auf ihren Oberflächen sich lagernden entgegengesetzten Elektrizitäten noch eine gewisse Entfernung von einander haben, wo sie dann desto heftiger einander entgegen eilen. Den Raum, innerhalb welchem Funken aus einem elektrisirten Körper gezogen werden können, nennt man die elektrische Schlagweite des Körpers. Die Größe der Schlagweite eines Conductors hängt nicht nur von der Stärke seiner Elektrizität ab, sondern auch von der Gestalt und der Leitungsfähigkeit des ihm genäherten Körpers, und ist bei trockener, nicht leitender Luft allemal, unter sonst gleichen Umständen, größer, als bei feuchter Luft, die mehr leitend ist. Beträgt die Schlagweite 4 Zoll, so sagt man, der Conductor gebe vierzöllige, beträgt sie 5 Zoll, so sagt man, er gebe fünfzöllige Funken u. s. w. Die große, von Cuthberson verfertigte Elektrisirmaschine in dem Teyler'schen Museum zu Harlem, mit zwei, $7\frac{1}{2}$ Zoll von einander abstehenden Glasscheiben, von denen jede 65 englische Zoll Durchmesser hat, und deren Reibzeug aus acht Kissen besteht, von denen jedes 15 Zoll lang

Digitized by Google

ist, hat einen Conductor, dessen Oberfläche über 23 Quadratfuß beträgt. Dieser Conductor gibt vier und zwanzig zöllige Funken, welche die Dicke eines Federkiels haben. Da es bei der Mittheilung der Elektrizität, oder nach der Symmer'schen Hypothese, bei der sich frei lagernden Elektrizität, nicht auf die Masse der leitenden Körper, sondern auf deren Oberfläche ankommt, so wird einem Körper, der z. B. dreimal mehr Oberfläche hat, als ein anderer, unter gleichen Umständen, auch dreimal mehr Elektrizität mitgetheilt, oder frei gemacht. Dem ähnlich ist auch die Dichte der Elektrizität. Man versteht darunter das Verhältniß einer Elektrizitätmenge zu der Oberfläche des Körpers, auf der sie sich verbreitet. Nimmt die Elektrizitätmenge für dieselbe Oberfläche zu, so vergrößert sich auch ihre Dichte um eben so viel, als ihre Zunahme beträgt.

§ 229. (Vertheilung.) Aber auch ohne eine solche Mittheilung der Elektrizität, die in dem isolirten Körper, dem sie mitgetheilt worden ist, dadurch nicht aufhört, daß man ihn von dem Conductor entfernt, sondern dann erst, wenn sie ihm durch irgend einen Umstand wieder entzogen wird, z. B. durch einen andern Leiter, durch allmählige Ableitung in feuchter Luft u. s. w., äußert sich die Wirksamkeit der Elektrizität eines Körpers auf andere Körper auch außerhalb der Schlagweite. Wenn z. B. eine geriebene Glasröhre, deren Elektrizität also positiv ist, gegen einen Metallstab gehalten wird, so zeigt sich das Ende des Stabes, welches der Röhre zugekehrt ist, negativ elektrisirt, auch dann, wenn der Stab von der Röhre so weit entfernt ist, daß eine eigentliche Mittheilung der Elektrizität nicht stattfinden kann. Diese Wirksamkeit der Elektrizität innerhalb eines Raumes, der größer ist, als die Schlagweite, wird der elektrische Wirkungskreis oder die elektrische Atmosphäre genannt. Ein isolirter Leiter, welcher in den elektrischen Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers kommt, wird daher ebenfalls elektrisirt. Die beiden Elektrizitäten des Leiters werden dann in dem elektrischen Wirkungskreise eines elektrisirten Körpers aus dem Gleichgewicht gebracht, ohne sich mit der freien Elektrizität des elektrisirten Körpers vereinigen zu können. Diese Art, einen Körper zu elektrisiren, wird die Vertheilung der Elektrizität genannt. Hat der elektrisirte Körper, der die Vertheilung bewirkt, positive Elektrizität, so bekommt der Theil des isolirten Leiters, welcher dem elektrisirten Körper am nächsten ist, negative, der entferntere Theil positive Elektrizität, welcher Fall umgekehrt ist, wenn der elektrisirte Körper negative Elektrizität hat. Die Elektrizität des isolirten Körpers dauert aber nur so lange, als er in dem Wirkungskreis des elektrisirten Körpers sich befindet, folglich hat auch keine Mittheilung, sondern nur eine Vertheilung in dem isolirten Leiter Statt gefunden. Einen Versuch hierüber kann man mit einem isolirten metallnen Cylinder machen, an dessen beiden Enden ein Fadenelektroskop angebracht ist. Bringt man diesen Cylinder in den elektrischen Wirkungskreis einer positiv elektrisirten Glasröhre, so wird das Elektroskop am vordern Ende (nach der Glasröhre zu) negative, das an dem andern Ende positive Elektrizität zeigen. Der Cylinder ist also elektrisirt geworden, so wie man aber die Röhre entfernt, gehen auch die Fäden eines jeden Elektroskops wieder zusammen, der Cylinder hört also auf elektrisirt zu seyn, und hat folglich keine Elektrizität mitgetheilt bekommen. Obgleich nun keine Mittheilung der Elektrizität erfolgt, ohne daß nicht erst eine Vertheilung vorausgegangen seyn muß, so kann doch in vielen Fällen eine Vertheilung ohne Mittheilung erfolgen.

Digitized by Google

Nach dem Franklin'schen System ist die Vertheilung der Elektrizität eine Folge der zurückstoßenden Kraft, welche die elektrische Materie, die sich in einem Körper angehäuft hat, auf jede elektrische Materie, die ihr nahe ist, ausübt, daher in der Nähe eines durch Ueberfluß, also positiv elektrisirten Körpers, ein negativer Zustand, ein Mangel, entstehen muß. Ist aber ein Körper aus Mangel, also negativ elektrisirt, so sucht er diesen Mangel aus den ihm nahen Körpern zu ersetzen. Kann nun kein Uebergang erfolgen, so häuft sich doch die elektrische Materie in der Nähe des elektrisirten Körpers an, und es muß ein positiver Zustand entstehen. Noch einfacher ist die Erklärung der Elektrizitätsvertheilung nach dem Symmer'schen System, wenn man bedenkt, daß die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten eine solche Verwandtschaft zusammen haben, daß sie auch in dem Fall, wo sie sich nicht wirklich mit einander vereinigen können, doch schon in gewissen Entfernungen so aufeinander wirken, daß sich in der Nähe eines positiv elektrisirten Körpers die negative Elektrizität anhäuft, und umgekehrt. Die sich anziehenden Elektrizitäten scheinen da gleichsam den Moment ihrer Vereinigung, nach der sie streben, erwarten zu wollen.

§ 230. (Verstärkte Elektrizität.) Muschenbröck in Leyden wollte Wasser in einem Glase elektrisiren, und that dieß durch einen hineingestellten Metallstab. Als er nun die Flasche mit der einen Hand hielt, und mit der andern diesen Stab berührte, erhielt er einen heftigen Schlag, der ihm durch Brust und Arme ging. Zu derselben Zeit, es war im Jahre 1745, machte auch der Dombechant von Kleist zu Camin in Pommern, der Eisenfeile in einem gläsernen Becher elektrisiren wollte, die Entdeckung, daß bei der Berührung des Glases mit der einen und des hineingesteckten Metallstabes mit der andern Hand er einen Schlag bekam, der ihn mächtig erschütterte. Bald fanden sich dann auch die Bedingungen zur Einrichtung von Flaschen, die zur Hervorbringung dieser Erscheinung erforderlich sind. Nach ihren Erfindern wurde nachher auch eine solche Flasche theils die Leyden'sche, theils die Kleist'sche genannt. Gegenwärtig heißt sie die Verstärkungsflasche oder die Erschütterungsflasche.

Um sie zu verfertigen, nimmt man eine weite Flasche von dünnem Glase, und belegt sowohl ihre ganze innere, als ganze äußere Fläche mit einem gut leitenden Körper, wozu man gewöhnlich Staniol oder Goldblättchen gebraucht, jedoch so, daß sowohl von innen als außen noch einige Zoll von dem obern Rand der Flasche unbelegt bleiben, damit die beiden leitenden Belegungen keine elektrische Gemeinschaft zusammen haben, und überzieht auch wohl noch den unbelegten Rand, um leitende Feuchtigkeiten von ihm abzuhalten, mit einem harzigen Firniß. Ein runder Metallstab, dessen oberes Ende eine metallne Kugel trägt, geht von der innern Belegung, die er in mehreren Punkten berührt, durch eine Pappscheibe, welche die Oeffnung der Flasche bedeckt, einige Zoll hoch heraus, und bildet demnach eine Fortsetzung der innern Belegung.

Stellt man nun eine solche Flasche so an den Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine, daß der hervorragende Knopf der innern Belegung den Conductor berührt, und die äußere Belegung nicht isolirt ist, so wird die Flasche dadurch mit Elektrizität geladen, und die Elektrizität kann hierdurch so verstärkt werden, daß Jeder, der mit einer solchen Flasche nicht umzugehen versteht, heftig davon erschüttert, sogar in



Digitized by Google

Gefahr kommen kann. Auch dadurch kann man die Flasche laden, daß man die hervorragende Kugel dem Conductor bloß nähert, wo dann kleine Funken aus demselben gegen den Knopf fahren. Je mehr sich die Flasche ladet, desto langsamer und matter kommen die Funken zum Vorschein, und wenn sie einen recht langsamen und matten Gang anzunehmen anfangen, dann ist es Zeit, mit der Ladung einzuhalten.

Die Erschütterung zeigt sich aber nur dann, wenn man die innere und äußere Belegung zugleich anfaßt, indem man den hervorragenden Knopf mit der einen, und die äußere Belegung zugleich mit der andern Hand berührt. Faßt man die äußere nicht isolirte Belegung allein an, so ist, wie sich dieses von selbst ergibt, keine Spur einer Elektrizität zu bemerken. Auch kann man, wenn die äußere Belegung nicht angefaßt wird, dem hervorragenden Knopfe der innern Belegung einen Fingerknöchel nähern, und kleine Funken, die wohl etwas stechen, aber nicht erschüttern, aus ihm herausziehen. Da die innere Belegung ihre Elektrizität nicht, wie dieses bei dem Conductor der Fall ist, durch einen einzigen solchen Funken wieder verliert, so kann man auf diese Weise die Flasche nach und nach langsam wieder *entladen*. Um aber eine stark geladene Flasche ohne Nachtheil auf einmal entladen zu können, muß man sich eines eignen *Ausladers* bedienen. Dieser besteht aus einem halbkreisförmig gebogenen Messingdraht, dessen beide Enden mit kleinen Metallkugeln versehen sind, von der Einrichtung, daß man mit der einen Kugel das innere Belege oder den hervorragenden Knopf, mit der anderen das äußere Belege der Flasche berühren kann, dessen Griff aber, woran man ihn faßt, von Glas oder auf irgend eine Weise isolirt ist. Noch ehe die Kugel des Ausladers den Knopf der innern Belegung berührt, entladet sich schon die Flasche durch einen krachenden Funken, so wie die andere Kugel des Ausladers an der äußern Belegung anliegt, ohne daß man, da der Handgriff isolirt ist, auch nur im mindesten davon erschüttert werde. Bei einer stark geladnen Flasche bleibt indessen auch nach dieser Entladung noch immer ein *Rückstand*, ein *Residuum*, in der Flasche zurück, der erst durch eine zweite Entladung herausgezogen werden kann, und oft noch stark genug ist, um den Körper zu erschüttern, wenn man die innere und äußere Belegung der Flasche mit der Hand berührt.

Faßt man diese Erscheinungen überlegend auf, so wird man bald herausbringen, wie sie sich sowohl nach dem unitarischen, als dualistischen System, ohne viele Schwierigkeiten erklären lassen, wenn man das Gesetz der Vertheilung dabei vor Augen hat. Nach dem unitarischen System wird auf der innern Belegung der Flasche, wenn sie positiv geladen wird, die elektrische Materie angehäuft, wodurch die in ihrem Wirkungskreis auf der äußern Belegung befindliche zurückgestoßen wird, daher innerhalb der Flasche Ueberschuß, also positive, auf der äußern Belegung Mangel, also negative Elektrizität ist. Da aber die beiden Belegungen durch den unbelegten Rand der Flasche eine elektrische Isolirung haben, so kann sich die Elektrizität der äußern mit der der innern Belegung nur erst dann vereinigen, wenn sie in leitende Verbindung kommen, und dieses findet Statt, wenn man beide Belegungen mit der Hand oder einem Auslader berührt. Nach dem dualistischen Systeme bekommt die innere Belegung positive Elektrizität von dem Conductor zugeführt, dem sie dagegen negative abgibt. Je mehr dieses der Fall ist, desto mehr wird auch die Elektrizität der äußern Belegung vertheilt, ohne daß, wegen des zwischen

Digitized by Google

beiden befindlichen Glasrands, eine Vereinigung stattfinden kann, und so häuft sich auf der äußern Belegung negative Elektrizität an. Werden dann beide durch einen leitenden Körper in Verbindung gebracht, so fließen sie schnell und heftig zusammen, und die Flasche wird entladen.

Da aber die innere Belegung nicht nur einen elektrischen Wirkungskreis, sondern auch eine elektrische Schlagweite hat, die sich immer destomehr erweitert, je stärker man die Flasche ladet, so kann die Ladung endlich so stark werden, daß sie die äußere Belegung erreicht. So wie aber dieser Umstand eintritt, entladet sich die Flasche von selbst, und wird zertrümmert oder durchlöchert. Eben so kann auch eine Selbstentladung erfolgen, wenn der unbelegte Rand der Flasche staubig oder feucht ist, wodurch die innere und äußere Belegung in leitende Verbindung kommen.

Die verstärkte Elektrizität einer geladenen Flasche besteht demnach in der Anhäufung der entgegengesetzten Elektrizitäten auf den beiden Belegungen, wobei jedoch die Elektrizität der innern Belegung immer etwas stärker ist, als die der äußern. Auf das Elektrometer kann nur dieser Ueberschuß allein eine Wirksamkeit zeigen. Daher kommt es auch, daß ein Quadrantelektrometer, das man während der Ladung auf den Conductor setzt, nicht so hoch steigt, als wenn man durch eine gleiche Anzahl von Umdrehungen den Conductor allein elektrisirt. Eben so leicht läßt sich auch einsehen, warum die Flasche bei'm Laden nicht isolirt sein darf. Ist sie wirklich isolirt, steht sie z. B. während der Ladung auf Glas, Harz oder Seide, so kann die negative Elektrizität der äußern Fläche sich nicht von ihrer positiven los machen, diese kann nun nicht abströmen, und es findet auch keine Vertheilung statt. Die innere Ladung kann daher nur sehr schwach ausfallen. Uebrigens kann man eine Flasche auch dadurch laden, daß man die äußere Belegung an den Conductor hält, indem man die Flasche bei dem hervorragenden Knopf der innern Belegung faßt. Alsdann wird zwar die äußere Belegung positiv, die innere negativ elektrisirt werden, allein alle Erscheinungen, wie leicht zu erachten, durchaus dieselben bleiben. Weil nun Alles, was zwischen der leitenden Verbindung der beiden Belege einer Verstärkungsflasche sich befindet, bei der Entladung derselben heftig erschüttert wird, so nennt man diese Verbindung den Erschütterungskreis.

Zu bemerken ist jedoch, daß die verstärkte Elektrizität einer Verstärkungsflasche nicht sowohl in den beiden Belegungen, als vielmehr auf den Flächen des Glases selbst befindlich ist. Die metallischen Belegungen dienen eigentlich nur dazu, die Flasche mit einem Male entladen zu können. Hiervon kann man sich überzeugen, wenn man die Flasche, statt der äußern Belegung, in einen Pappüberzug setzt, in den sie ordentlich einpaßt, und diesen mit Staniol überzieht. Dieser bildet dann die äußere Belegung; auf ähnliche Weise muß man auch innerhalb der Flasche einen metallischen Ueberzug anbringen, der als innere Belegung dient. Nimmt man nun, nachdem die Flasche geladen ist, beide Belegungen hinweg, die innere jedoch, wie sich das von selbst versteht, mittelst eines isolirenden Handgriffs, so bleibt die Flasche dennoch geladen, und kann noch immer, auch wenn man ihr andere Belegungen anlegt, entladen werden.

Weil in der Luft viele leitende Dünste enthalten sind, so kann auch eine geladne Verstärkungsflasche, wenn sie vom Conductor entfernt wird, ihre Ladung nicht auf lange Zeit behalten. Indessen hat man doch einen



Digitized by Google

welches dadurch geschieht, daß man von dem Reibzeug eine Metallkette auf den Erdboden herabhängen läßt. Will man aber den Conductor bloß negativ elektrisiren, so muß man ihm andere Arme einsetzen, durch welche er mit dem Reibzeug, wie vorhin mit der Scheibe, in Verbindung kommt, sodann dieses isoliren, dagegen aber die Scheibe in metallische Verbindung mit dem Erdboden bringen, und auch sonst noch die in ihr rege werdende Elektrizität durch Metallspitzen so viel als möglich ableiten. Wird nunmehr die Scheibe gedreht, so wird der Conductor negativ elektrisirt. Dieses kann man durch ein oder zwei isolirte Kügelchen, wie bereits erwähnt wurde, leicht inne werden. Da nämlich die Scheibe, ungeachtet der angebrachten Ableitung, als ein guter Nichtleiter, noch immer einige Glas- oder positive Elektrizität behält, so wird ein isolirtes Kügelchen, das nunmehr der Conductor abgestoßen hat, von der Scheibe angezogen, und umgekehrt. Zwei isolirte Kügelchen, von welchen das eine von dem negativ elektrisirten Conductor, das andere von der Scheibe abgestoßen worden ist, ziehen sich, einander genähert, auch sogleich an.

Auch daraus, daß ein isolirtes Kügelchen, welches von einer elektrisirten Glasstange angezogen, dann abgestoßen worden ist, auch von dem Conductor abgestoßen wird, in so fern er mit der Scheibe in Verbindung ist, sieht man, daß er in dieser Verbindung die Glas- oder positive Elektrizität hat, und nennt ihn deßhalb auch den *positiven Conductor*. Ein isolirtes Kügelchen, welches durch eine geriebene Siegellackstange elektrisirt worden ist, wird daher von dem positiven Conductor angezogen, nachdem diese es abgestoßen hat. Hingegen aber wird ein isolirtes Kügelchen, welches von einer elektrisirten Siegellackstange abgestoßen worden ist, auch von dem Conductor des Reibzeugs abgestoßen, woraus sich schließen läßt, daß er in Verbindung mit dem Reibzeug die Harz- oder negative Elektrizität angenommen haben muß. Der Conductor des Reibzeugs heißt daher der *negative Conductor*. Ein isolirtes Kügelchen, welches von einer elektrisirten Glasstange abgestoßen worden ist, wird vom negativen Conductor angezogen.

Die Elektrizität des negativen Conductors ist indessen gewöhnlich um Vieles schwächer, als jene des positiven. Da aber dieser Umstand wahrscheinlich bloß daher rührt, daß man nicht im Stande ist, die Elektrizität der Scheibe so vollständig abzuleiten, daß jene des Reibzeugs um nichts geschwächt werde, so läßt sich auch aus dieser Erscheinung nicht folgern, daß die negative Elektrizität an und für sich von geringerer Wirkung, als die positive sey.

Man hat übrigens auch gefunden, daß Glas negativ, Harz positiv elektrisirt wird, wenn sich die Beschaffenheit des Reibzeugs ändert. Jenes wird negativ elektrisirt, wenn man es mit einem Katzenfell reibt, dieses positiv, wenn es mit Schwefel oder Amalgama gerieben wird.

Eine anderweitige merkwürdige Verschiedenheit der entgegesetzten Elektrizitäten, obgleich von geringer Zuverlässigkeit, kann man im Finstern wahrnehmen, wenn man die Lichtgestalten bemerkt, welche bei dem Ausströmen der Elekrizität durch Spitzen zum Vorschein kommen. Wenn man nämlich mit einem spitzen messingenen Stift dem positiv elektrisirten Conductor nahe kommt, so zeigt sich an der Spitze des Stifts, noch in ziemlicher Entfernung vom Conductor, ein leuchtender Stern, der zwar nicht größer, aber immer lebhafter wird, je näher man dem Conductor kommt. Setzt man aber den Stift mit seinem stumpfen Ende

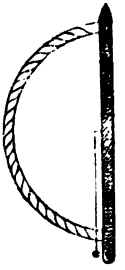
Digitized by Google

in eine kleine Oeffnung des Conductors ein, und nähert dessen hervorstehender Spitze die Hand, oder irgend einen Leiter, so sieht man, statt des Sterns, einen leuchtenden Pinsel ausströmen. Ist aber der Conductor negativ elektrisirt, so dreht sich die Erscheinung um. Bei dem erst angegebenen Versuche kommt nunmehr der leuchtende Pinsel, bei dem andern aber der leuchtende Stern zum Vorschein.

Noch besonders wird bei dem Versuche mit dem leuchtenden Pinsel die Aufmerksamkeit auf ein Blasen gelenkt, welches um den Pinsel her statt hat, und das dem Wehen eines sanften Windes vergleichbar ist, was man den elektrischen Wind zu nennen pflegt. Mit einer Lichtflamme, die man dem Pinsel vorhält, kann man dieses Blasen sehen, an der Hand kann man es fühlen. Durch die Ausströmung aus der Spitze des Stifts, der auf dem Conductor angebracht ist, wird aber die Luft um den Conductor herum ebenfalls elektrisirt. In diesem Zustand, wo sie mit dem Conductor gleichartige Elektrizität besitzt, wird sie von ihm abgestoßen, und eben so stoßen sich auch die elektrisirten Luftschichten unter einander selbst ab, und gerathen in Bewegung. In den feinen Härchen der Gesichtshaut verursacht denn dieses Blasen jenes Gefühl, als ob man mit dem Gesicht in ein Spinnengewebe gerathe.

§ 226. (Elektrometer.) Auf dem Gesetz, daß gleichartige Elektrizitäten sich abstoßen, entgegengesetzte sich anziehen, beruht die Verfertigung von Werkzeugen, mit welchen man schätzen oder messen kann, ob sich die Elektrizität in einem Körper verstärke, und ob sie eine positive oder negative sey. Ein solches Werkzeug wird ein Elektrometer oder Elektroskop genannt, und obgleich diese Werkzeuge keine Vollständigkeit besitzen, so sind sie doch bei vielen Versuchen nicht leicht zu entbehren. Es gibt vielerlei Arten solcher Elektrizitätsmesser; einige dienen besonders dazu, eine sehr schwache Elektrizität kennbar zu machen, wo sie dann Mikroelektrometer heißen, während andere, die man Mekaelektrometer nennt, umgekehrt zur Messung einer starken Elektrizität eingerichtet sind. Luftelektrometer dienen besonders zur Untersuchung der atmosphärischen Elektrizität. Sehr einfach ist das Fadenelektroskop. Dieses besteht aus zwei Kügelchen von Kork oder Hollundermark an leinenen Fäden, die zusammen an einem seidenen Faden hängen. Werden sie an einem elektrisirten Körper angehängt, so gehen sie, je mehr dessen Elektrizität zunimmt, auch desto weiter auseinander. Genauer ist das Quadrantelektrometer von Henley. Es besteht dieses Elektrometer aus einem Halbkreis von Elfenbein oder Glas (Fig. 195), der in Grade eingetheilt, und an einer senkrechten Säule von nicht gedörrtem Holz, am besten von Burbaum, befestigt ist. Ein Korkkügelchen hängt vom Mittelpunkt des Halbkreises pendelartig und parallel mit der Säule herab. Wird nun das Elektrometer durch irgend eine passende Vorrichtung auf einen elektrisirten Körper, z. B. auf den Conductor der Elektrisirmaschine, gesetzt, so nimmt es auch dessen Elektrizität an, Säule und Pendel werden dann ebenfalls gleichartig und gleich stark elektrisirt, daher dieses von jener abgestoßen wird. Das Pendel steigt nun an dem graduirten Kreisbogen hinauf, um so höher, je stärker die Elektrizität ist, deren Zunahme sich dann an den Graden messen läßt.

Fig. 195.



Außer diesen beiden Elektrometern hat man auch Elektrometer von Goldblättchen, Strohhälmchen und noch viele andere.

Digitized by Google

Daß man ein Elektrometer auch gebrauchen kann, um zu erforschen, ob ein anderer Körper positiv oder negativ elektrisirt sey, leuchtet einem bald ein. Man darf z. B. nur das Fadenelektrometer positiv elektrisiren, und dann in die Nähe des Körpers bringen, dessen Elektrizitätsart man erforschen will. Ist sie auch positiv, so gehen die Kügelchen noch weiter auseinander; ist sie aber negativ, so gehen die Kügelchen zusammen.

§ 227. (Elektrizitäts-Theorien) Es läßt sich leicht denken, daß seit der Zeit, wo man anfing, die elektrischen Erscheinungen näher zu untersuchen, und besonders seit der Erfindung der Elektrisirmaschine, kein ausgezeichneter Physiker diese Erscheinungen an sich vorübergehen ließ, ohne an deren Erklärungen sich zu versuchen. Durch die ungemein raschen Fortschritte, welche in diesem Zweig der Naturlehre seit der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts gemacht wurden, haben aber die früheren Erklärungsarten, als unstatthaft und unzureichend, ihren Werth schnell wieder verloren, und andern Platz machen müssen, die mehr dem Wesen dieser Erscheinungen zu entsprechen vermochten. Zwei dieser Erklärungsarten, von denen die eine die Hypothese oder das System der Unitarier, die andere die Hypothese oder das System der Dualisten genannt wird, haben unter allen andern die beifälligste Aufnahme gefunden, und bis auf die neueste Zeit, wo man zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen zwei Polarkräfte gelten läßt (§ 222) ein vorzügliches Bürgerrecht in der Physik erlangt.

Nach dem unitarischen Systeme, welches auch nach seinem Erfinder das Franklin'sche genannt wird, sind alle elektrische Erscheinungen als Wirkungen einer einzigen Materie zu betrachten, die von unendlicher Feinheit ist, und deßhalb durch alle Körper sich zu verbreiten vermag. Die Theilchen dieser elektrischen Materie haben das eigenthümliche Bestreben, sich untereinander abzustoßen, werden aber von allen Körpern angezogen, jedoch, nach dem verschiedenen Grad der Verwandtschaft, von einem Körper mehr, von einem anderen weniger, so daß jeder Körper irgend eine bestimmte Menge von dieser Materie enthalten kann. Dieser Zustand, den Franklin den natürlichen Zustand der Elektrizität eines Körpers nannte, ist also der Zustand des Gleichgewichts, und so lange dieser dauert, ist der Körper mit elektrischer Materie gesättigt, und keine elektrische Erscheinung wahrzunehmen. Tritt aber ein Körper aus diesem Zustand heraus, dadurch, daß sich die elektrische Materie in ihm anhäuft und er übersättigt wird, so ist er elektrisirt, und zwar in diesem Falle positiv. Wird hingegen einem Körper von der elektrischen Materie, die er in seinem natürlichen Zustand zu enthalten vermag, etwas entzogen, so hört das Gleichgewicht abermals auf, und nun ist der Körper wiederum elektrisirt, aber seine Elektrizität ist jetzt negativ. Eine jede elektrische Erscheinung ist also nichts Anders, als ein Bestreben, das aufgehobene elektrische Gleichgewicht wieder herzustellen, nur daß die positive Elektrizität einen Ueberfluß, die negative einen Mangel anzeige.

Es ist unläugbar, daß viele elektrische Erscheinungen mit Hülfe dieser Hypothese erklärbar werden. Wird Glas gerieben, so wird dadurch dem Reibzeug elektrische Materie entzogen, die sich sodann, da Glas ein guter Nichtleiter ist, auf dessen Oberfläche anhäuft. Das Glas wird also durch die Uebersättigung positiv, das Reibzeug, durch den Abgang, negativ elektrisirt. Ist dabei das Reibzeug isolirt, so kann das Glas darum nicht stark elektrisirt werden, weil der Vorrath elektrischer Materie, welche in

Digitized by Google

dem Reibzeug enthalten ist, durch das Reiben bald erschöpft wird. Deßhalb muß man, um dem Glas einen beliebig hohen Grad von Elektrizität ertheilen zu können, das Reibzeug durch einen Leiter mit dem Erdboden verbinden. In dem Maße, wie es nun seine Elektrizität dem Glase abgibt, wird ihm dann immer wieder neue aus dem Erdboden zugeführt, wodurch es stets seinen natürlichen Zustand behält. Ist das Glas oder der positive Conductor und auch das Reibzeug in leitender Verbindung mit dem Erdboden, so kann gar keine Elektrizität bemerkbar werden, weil in diesem Falle jeder Zufluß derselben im Glase oder dem Conductor auch sogleich wieder abgeleitet, und jeder Abgang im Reibzeug auch sogleich wieder ersetzt wird, und ein noch so anhaltendes Reiben in diesem Falle keine Störung des Gleichgewichts bewirken kann. Auch in dem Falle, wo der positive Conductor zugleich mit dem Reibzeug in leitender Verbindung ist, kann keine Elektrizität bemerkbar werden, weil er immer die Elektrizität, die ihm das Glas zuführt, wieder an das Reibzeug abgibt. Ist das Glas in leitender Verbindung mit dem Erdboden, das Reibzeug hingegen isolirt, so wird die Anhäufung der elektrischen Materie auf dem Glase auch wieder abgeleitet, und das Reibzeug, welches jetzt einen Mangel an seinem natürlichen Zustand hat, ist negativ elektrisirt. Aus dem Bestreben der elektrischen Materie, ihr aufgehobenes Gleichgewicht wieder herzustellen, erklären sich auch die erwähnten sonderbaren Lichterscheinungen (§ 225). Aus der Spitze im positiven Conductor strömt, des Ueberflusses wegen, Elektrizität aus, die Feuerbüschel sind dann lang und stark, und bekommen dadurch die Form eines Pinsels. Die Spitze im negativen Conductor aber, welche aus Mangel elektrisirt ist, sucht dem Körper, den man ihr nähert, Elektrizität zu entreißen, die nun, aber freilich nur in geringer Menge, in ihr einströmt, die Feuerbüschel sind dann kurz und schwach, nur stern- oder punktartig. Der Funke, den man aus dem positiven Conductor erhält, wenn man ihm einen Leiter nähert, fährt demnach aus diesem Conductor heraus, allein der Funke, den man bei der Näherung eines Leiters gegen den negativen Conductor wahrnimmt, kommt aus dem Leiter und fährt in den Conductor hinein, um den Mangel zu ersetzen.

Dieses Ausströmen des elektrischen Lichts in dem einen, so wie dessen Einströmen in dem andern Fall, ist aber nicht nur, bei der ungeheuern Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegung erfolgt, an und für sich gar nicht mehr zu beobachten möglich, sondern auch mit dem Blasen nicht wohl vereinbarlich, da dieses allemal, sowohl bei positiver als negativer Elektrizität, wenn gleich bei letzterer etwas schwächer, von der Spitze abwärts geht, wodurch doch offenbar in beiden Fällen Elektrizität auszuströmen scheint. So einfach daher auch das Franklin'sche System die hier angegebenen elektrischen Erscheinungen zu erklären vermag, so hat es doch hierin einem Einwurf zu begegnen, den es schwer von sich abwehren kann.

Woher es endlich komme, daß zwei Körper mit gleichartiger Elektrizität sich anziehen, mit ungleichartiger sich abstoßen, sucht man nach diesem System auf folgende Weise zu erklären: Sind beide Körper positiv elektrisirt, so strömt aus beiden elektrische Materie aus, die sich, wenn die Körper sich nähern, um diese herum drängt und anhäuft, daher sie auseinander treibt und zurückstößt. Kommt aber ein positiv elektrisirter Körper in die Nähe eines negativ elektrisirten, so strömt die Ueberfüllung des einen Körpers in den andern über, und es erfolgt eine Anziehung. In

Digitized by Google

dem Falle endlich, wo beide Körper negativ elektrisirt sind, liegt zwischen beiden eine elektrische Materie im natürlichen Zustand. Da diese aber dichter ist, als die negative Elektrizität der Körper, so sucht sie sich auszubreiten, und treibt die Körper auseinander.

Daß auch diese Erklärungsart etwas gezwungen und unbefriedigend ist, kann nicht verkannt werden, und dieses eben hat viele Physiker bewogen, die elektrischen Erscheinungen lieber nach dem dualistischen System, welches man auch nach seinem Erfinder, Robert Symmer, das Symmer'sche nennt, zu erklären. Nach diesem Systeme sind alle diese Erscheinungen Wirkungen zweier elektrischer Materien, die sich, der Verwandtschaft wegen, die sie zusammen haben, schon in ziemlicher Entfernung einander anziehen, sich auch überall, wo sie frei werden und kein Hinderniß finden, schnell und heftig miteinander vereinigen, während hingegen jede ihre eigenen Theilchen abstößt. Von diesen beiden Elektrizitäten, von welchen zwar jede für sich allein von gleicher Wirkung ist, wie die andere, wird dann die eine die positive, die andere die negative genannt. So lange nun beide Elektrizitäten in einem Körper miteinander verbunden sind, neutralisiren sie sich wechselseitig, und so lange dieser gebundene Zustand, den man als den Nullzustand ansehen kann, vorhanden ist, zeigt sich auch keine Spur irgend einer elektrischen Erscheinung. Wird aber dieser Zustand auf irgend eine Weise aufgehoben, und dadurch beide Elektrizitäten von einander getrennt, so zeigen sich die Körper elektrisirt.

Aus dieser Hypothese, die zwar, wegen der Annahme zweier elektrischen Stoffe, weniger einfach ist, als die Franklin'sche, welche nur auf der Annahme eines einzigen elektrischen Stoffes beruht, lassen sich jedoch die elektrischen Erscheinungen, zumal ihrem gegenwärtigen Umfange nach, ungezwungener und passender erklären. Reiben ist eines der Mittel, die in den Körpern gebundenen entgegengesetzten Elektrizitäten von einander zu trennen. Wird nun Glas mit Amalgama gerieben, so werden die im Glase und im Reibzeug ruhenden Elektrizitäten erregt, die positive Elektrizität des Glases lagert sich auf die Oberfläche des Glases, die negative des Reibzeugs auf die Oberfläche des Reibzeugs. Welche der beiden Elektrizitäten auf die Oberfläche des Reibers und des Reibzeugs übergeht, hängt vielleicht von der Verwandtschaft dieser beiden Körper zu der einen und der andern der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten ab. Indessen ist noch kein allgemeines Gesetz bekannt, nach welchem dieses bestimmt werden könnte. Die auf der Oberfläche des Glases freie positive und die auf der Oberfläche des Reibzeugs freie negative Elektrizität kommen sich entgegen, können sich aber, da das Reibzeug in leitender Verbindung mit dem Erdboden ist, wodurch ihm immer der innere Abgang wieder ersetzt wird, nicht mit einander vereinigen, und sinken, so wie das Reiben aufhört, wieder in den gebundenen Zustand zurück. So lange aber das Reiben dauert, wird nun auch in dem der Scheibe zugehörigen Conductor die Elektrizität erregt, und er wird ebenfalls, wenn er isolirt ist, positiv elektrisirt, da er seinen negativen elektrischen Bestandtheil dem am Glase haftenden freien positiven Bestandtheil abgibt. Eben so lassen sich auch die Erscheinungen in Beziehung auf den negativen Conductor ohne Schwierigkeit erklären, so wie die übrigen Erscheinungen, welche bereits in der Franklin'schen Hypothese angeführt worden sind. Nähert man dem positiven Conductor einen Leiter, so vereinigt sich seine freie positive Elektrizität

Digitized by Google

mit der negativen des Leiters sehr schnell und heftig, wodurch dann der schlagende Funke entsteht. Nähert man einen Leiter dem negativen Conductor, so vereinigt sich dessen freie negative Elektrizität mit dem positiven des Leiters auf gleiche Weise, und der Erfolg ist auch derselbe.

Es ist übrigens nicht in Abrede zu stellen, daß auch diese Hypothese noch manche Lücke hat und viel zu wünschen übrig läßt, und daß auch die Erscheinung mit den Lichtbüscheln nach diesem Systeme nicht so leicht als nach dem vorigen erklärbar wird, dagegen ist aber die Erscheinung der elektrischen Anziehung und Abstoßung nach diesem System sehr einfach zu erklären, indem diese Erscheinung eigentlich die Grundlage der ganzen Hypothese ist. Daß gleich starke und ungleichartige Elektrizitäten sich wechselseitig gänzlich zernichten müssen, bei ungleicher Stärke aber die schwächere immer einen analogen Theil der stärkern aufheben muß, geht ebenfalls sehr leicht aus dieser Hypothese hervor.

Beide Hypothesen gehören übrigens dem atomistischen System an. Nach dem dynamischen aber, welches auch hier wieder, wie bereits in den Kapiteln von der Wärme und dem Lichte gezeigt worden ist, die elektrischen Erscheinungen aus der Thätigkeit der beiden Grundkräfte zu erklären sucht, sind diese Erscheinungen bloß Folgen dynamischer Bewegungen, welche theils in den elektrisirten Körpern, theils in der Luft und den Feuchtigkeiten, welche zwischen zwei elektrisirten Leitern sich befinden, vorgehen. Positive Elektrizität ist dann der überwiegenden Dehnkraft, negative der überwiegenden Anziehungskraft zuzuschreiben, und da sich gleichnamige Kräfte nicht dulden, so stoßen sich auch die gleichnamigen Elektrizitäten ab. Die entgegengesetzten Kräfte, welche sich einander anziehen, verursachen auch die Anziehung beider Elektrizitäten.

§ 228. (Schlagweite.) Isolirte Leiter, die unter sich und mit dem Conductor verbunden sind, machen mit diesem ein Ganzes aus, und werden insgesammt wie der Conductor elektrisirt, was man mitunter auch die Mittheilung der Elektrizität zu nennen pflegt, durch welche jedoch das Gewicht der Körper nicht im mindesten verändert wird, obgleich man annehmen könnte, daß die Polarität der elektrischen Kräfte in den Theilchen des Körpers, dem Elektrizität mitgetheilt wurde, sich gesteigert habe. Der Funke aber, den man einem elektrisirten Leiter durch einen nichtelektrisirten entlocken kann, ist jedoch stärker und heftiger, wenn beide Leiter nicht in unmittelbarer Berührung sind, sondern die auf ihren Oberflächen sich lagernden entgegengesetzten Elektrizitäten noch eine gewisse Entfernung von einander haben, wo sie dann desto heftiger einander entgegen eilen. Den Raum, innerhalb welchem Funken aus einem elektrisirten Körper gezogen werden können, nennt man die elektrische Schlagweite des Körpers. Die Größe der Schlagweite eines Conductors hängt nicht nur von der Stärke seiner Elektrizität ab, sondern auch von der Gestalt und der Leitungsfähigkeit des ihm genäherten Körpers, und ist bei trockener, nicht leitender Luft allemal, unter sonst gleichen Umständen, größer, als bei feuchter Luft, die mehr leitend ist. Beträgt die Schlagweite 4 Zoll, so sagt man, der Conductor gebe vierzöllige, beträgt sie 5 Zoll, so sagt man, er gebe fünfzöllige Funken u. s. w. Die große, von Cuthberson verfertigte Elektrisirmaschine in dem Teyler'schen Museum zu Harlem, mit zwei, $7\frac{1}{2}$ Zoll von einander abstehenden Glasscheiben, von denen jede 65 englische Zoll Durchmesser hat, und deren Reibzeug aus acht Kissen besteht, von denen jedes 15 Zoll lang

Digitized by Google

ist, hat einen Conductor, dessen Oberfläche über 23 Quadratfuß beträgt. Dieser Conductor gibt vier und zwanzig zöllige Funken, welche die Dicke eines Federkiels haben. Da es bei der Mittheilung der Elektrizität, oder nach der Symmer'schen Hypothese, bei der sich frei lagernden Elektrizität, nicht auf die Masse der leitenden Körper, sondern auf deren Oberfläche ankommt, so wird einem Körper, der z. B. dreimal mehr Oberfläche hat, als ein anderer, unter gleichen Umständen, auch dreimal mehr Elektrizität mitgetheilt, oder frei gemacht. Dem ähnlich ist auch die Dichte der Elektrizität. Man versteht darunter das Verhältniß einer Elektrizitätmenge zu der Oberfläche des Körpers, auf der sie sich verbreitet. Nimmt die Elektrizitätmenge für dieselbe Oberfläche zu, so vergrößert sich auch ihre Dichte um eben so viel, als ihre Zunahme beträgt.

§ 229. (Vertheilung.) Aber auch ohne eine solche Mittheilung der Elektrizität, die in dem isolirten Körper, dem sie mitgetheilt worden ist, dadurch nicht aufhört, daß man ihn von dem Conductor entfernt, sondern dann erst, wenn sie ihm durch irgend einen Umstand wieder entzogen wird, z. B. durch einen andern Leiter, durch allmählige Ableitung in feuchter Luft u. s. w., äußert sich die Wirksamkeit der Elektrizität eines Körpers auf andere Körper auch außerhalb der Schlagweite. Wenn z. B. eine geriebene Glasröhre, deren Elektrizität also positiv ist, gegen einen Metallstab gehalten wird, so zeigt sich das Ende des Stabes, welches der Röhre zugekehrt ist, negativ elektrisirt, auch dann, wenn der Stab von der Röhre so weit entfernt ist, daß eine eigentliche Mittheilung der Elektrizität nicht stattfinden kann. Diese Wirksamkeit der Elektrizität innerhalb eines Raumes, der größer ist, als die Schlagweite, wird der elektrische Wirkungskreis oder die elektrische Atmosphäre genannt. Ein isolirter Leiter, welcher in den elektrischen Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers kommt, wird daher ebenfalls elektrisirt. Die beiden Elektrizitäten des Leiters werden dann in dem elektrischen Wirkungskreise eines elektrisirten Körpers aus dem Gleichgewicht gebracht, ohne sich mit der freien Elektrizität des elektrisirten Körpers vereinigen zu können. Diese Art, einen Körper zu elektrisiren, wird die Vertheilung der Elektrizität genannt. Hat der elektrisirte Körper, der die Vertheilung bewirkt, positive Elektrizität, so bekommt der Theil des isolirten Leiters, welcher dem elektrisirten Körper am nächsten ist, negative, der entferntere Theil positive Elektrizität, welcher Fall umgekehrt ist, wenn der elektrisirte Körper negative Elektrizität hat. Die Elektrizität des isolirten Körpers dauert aber nur so lange, als er in dem Wirkungskreis des elektrisirten Körpers sich befindet, folglich hat auch keine Mittheilung, sondern nur eine Vertheilung in dem isolirten Leiter Statt gefunden. Einen Versuch hierüber kann man mit einem isolirten metallnen Cylinder machen, an dessen beiden Enden ein Fadenelektroskop angebracht ist. Bringt man diesen Cylinder in den elektrischen Wirkungskreis einer positiv elektrisirten Glasröhre, so wird das Elektroskop am vordern Ende (nach der Glasröhre zu) negative, das an dem andern Ende positive Elektrizität zeigen. Der Cylinder ist also elektrisirt geworden, so wie man aber die Röhre entfernt, gehen auch die Fäden eines jeden Elektroskops wieder zusammen, der Cylinder hört also auf elektrisirt zu seyn, und hat folglich keine Elektrizität mitgetheilt bekommen. Obgleich nun keine Mittheilung der Elektrizität erfolgt, ohne daß nicht erst eine Vertheilung vorausgegangen seyn muß, so kann doch in vielen Fällen eine Vertheilung ohne Mittheilung erfolgen.

Digitized by Google

Nach dem Franklin'schen System ist die Vertheilung der Elektrizität eine Folge der zurückstoßenden Kraft, welche die elektrische Materie, die sich in einem Körper angehäuft hat, auf jede elektrische Materie, die ihr nahe ist, ausübt, daher in der Nähe eines durch Ueberfluß, also positiv elektrisirten Körpers, ein negativer Zustand, ein Mangel, entstehen muß. Ist aber ein Körper aus Mangel, also negativ elektrisirt, so sucht er diesen Mangel aus den ihm nahen Körpern zu ersetzen. Kann nun kein Uebergang erfolgen, so häuft sich doch die elektrische Materie in der Nähe des elektrisirten Körpers an, und es muß ein positiver Zustand entstehen. Noch einfacher ist die Erklärung der Elektrizitätsvertheilung nach dem Symmer'schen System, wenn man bedenkt, daß die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten eine solche Verwandtschaft zusammen haben, daß sie auch in dem Fall, wo sie sich nicht wirklich mit einander vereinigen können, doch schon in gewissen Entfernungen so aufeinander wirken, daß sich in der Nähe eines positiv elektrisirten Körpers die negative Elektrizität anhäuft, und umgekehrt. Die sich anziehenden Elektrizitäten scheinen da gleichsam den Moment ihrer Vereinigung, nach der sie streben, erwarten zu wollen.

§ 230. (Verstärkte Elektrizität.) Muschenbröck in Leyden wollte Wasser in einem Glase elektrisiren, und that dieß durch einen hineingestellten Metallstab. Als er nun die Flasche mit der einen Hand hielt, und mit der andern diesen Stab berührte, erhielt er einen heftigen Schlag, der ihm durch Brust und Arme ging. Zu derselben Zeit, es war im Jahre 1745, machte auch der Domdechant von Kleist zu Camin in Pommern, der Eisenfeile in einem gläsernen Becher elektrisiren wollte, die Entdeckung, daß bei der Berührung des Glases mit der einen und des hineingesteckten Metallstabes mit der andern Hand er einen Schlag bekam, der ihn mächtig erschütterte. Bald fanden sich dann auch die Bedingungen zur Einrichtung von Flaschen, die zur Hervorbringung dieser Erscheinung erforderlich sind. Nach ihren Erfindern wurde nachher auch eine solche Flasche theils die Leyden'sche, theils die Kleist'sche genannt. Gegenwärtig heißt sie die Verstärkungsflasche oder die Erschütterungsflasche.

Um sie zu verfertigen, nimmt man eine weite Flasche von dünnem Glase, und belegt sowohl ihre ganze innere, als ganze äußere Fläche mit einem gut leitenden Körper, wozu man gewöhnlich Staniol oder Goldblättchen gebraucht, jedoch so, daß sowohl von innen als außen noch einige Zoll von dem obern Rand der Flasche unbelegt bleiben, damit die beiden leitenden Belegungen keine elektrische Gemeinschaft zusammen haben, und überzieht auch wohl noch den unbelegten Rand, um leitende Feuchtigkeiten von ihm abzuhalten, mit einem harzigen Firniß. Ein runder Metallstab, dessen oberes Ende eine metallne Kugel trägt, geht von der innern Belegung, die er in mehreren Punkten berührt, durch eine Pappscheibe, welche die Oeffnung der Flasche bedeckt, einige Zoll hoch heraus, und bildet demnach eine Fortsetzung der innern Belegung.

Stellt man nun eine solche Flasche so an den Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine, daß der hervorragende Knopf der innern Belegung den Conductor berührt, und die äußere Belegung nicht isolirt ist, so wird die Flasche dadurch mit Elektrizität geladen, und die Elektrizität kann hierdurch so verstärkt werden, daß Jeder, der mit einer solchen Flasche nicht umzugehen versteht, heftig davon erschüttert, sogar in



Digitized by Google

Gefahr kommen kann. Auch dadurch kann man die Flasche laden, daß man die hervorragende Kugel dem Conductor bloß nähert, wo dann kleine Funken aus demselben gegen den Knopf fahren. Je mehr sich die Flasche ladet, desto langsamer und matter kommen die Funken zum Vorschein, und wenn sie einen recht langsamen und matten Gang anzunehmen anfangen, dann ist es Zeit, mit der Ladung einzuhalten.

Die Erschütterung zeigt sich aber nur dann, wenn man die innere und äußere Belegung zugleich anfaßt, indem man den hervorragenden Knopf mit der einen, und die äußere Belegung zugleich mit der andern Hand berührt. Faßt man die äußere nicht isolirte Belegung allein an, so ist, wie sich dieses von selbst ergibt, keine Spur einer Elektrizität zu bemerken. Auch kann man, wenn die äußere Belegung nicht angefaßt wird, dem hervorragenden Knopfe der innern Belegung einen Fingerknöchel nähern, und kleine Funken, die wohl etwas stechen, aber nicht erschüttern, aus ihm herausziehen. Da die innere Belegung ihre Elektrizität nicht, wie dieses bei dem Conductor der Fall ist, durch einen einzigen solchen Funken wieder verliert, so kann man auf diese Weise die Flasche nach und nach langsam wieder *entladen*. Um aber eine stark geladene Flasche ohne Nachtheil auf einmal entladen zu können, muß man sich eines eignen *Ausladers* bedienen. Dieser besteht aus einem halbkreisförmig gebogenen Messingdraht, dessen beide Enden mit kleinen Metallkugeln versehen sind, von der Einrichtung, daß man mit der einen Kugel das innere Belege oder den hervorragenden Knopf, mit der anderen das äußere Belege der Flasche berühren kann, dessen Griff aber, woran man ihn faßt, von Glas oder auf irgend eine Weise isolirt ist. Noch ehe die Kugel des Ausladers den Knopf der innern Belegung berührt, entladet sich schon die Flasche durch einen krachenden Funken, so wie die andere Kugel des Ausladers an der äußern Belegung anliegt, ohne daß man, da der Handgriff isolirt ist, auch nur im mindesten davon erschüttert werde. Bei einer stark geladnen Flasche bleibt indessen auch nach dieser Entladung noch immer ein *Rückstand*, ein *Residuum*, in der Flasche zurück, der erst durch eine zweite Entladung herausgezogen werden kann, und oft noch stark genug ist, um den Körper zu erschüttern, wenn man die innere und äußere Belegung der Flasche mit der Hand berührt.

Faßt man diese Erscheinungen überlegend auf, so wird man bald herausbringen, wie sie sich sowohl nach dem unitarischen, als dualistischen System, ohne viele Schwierigkeiten erklären lassen, wenn man das Gesetz der Vertheilung dabei vor Augen hat. Nach dem unitarischen System wird auf der innern Belegung der Flasche, wenn sie positiv geladen wird, die elektrische Materie angehäuft, wodurch die in ihrem Wirkungskreis auf der äußern Belegung befindliche zurückgestoßen wird, daher innerhalb der Flasche Ueberschuß, also positive, auf der äußern Belegung Mangel, also negative Elektrizität ist. Da aber die beiden Belegungen durch den unbelegten Rand der Flasche eine elektrische Isolirung haben, so kann sich die Elektrizität der äußern mit der der innern Belegung nur erst dann vereinigen, wenn sie in leitende Verbindung kommen, und dieses findet Statt, wenn man beide Belegungen mit der Hand oder einem Ausladen berührt. Nach dem dualistischen Systeme bekommt die innere Belegung positive Elektrizität von dem Conductor zugeführt, dem sie dagegen negative abgibt. Je mehr dieses der Fall ist, desto mehr wird auch die Elektrizität der äußern Belegung vertheilt, ohne daß, wegen des zwischen

Digitized by Google

beiden befindlichen Glasrands, eine Vereinigung stattfinden kann, und so häuft sich auf der äußern Belegung negative Elektrizität an. Werden dann beide durch einen leitenden Körper in Verbindung gebracht, so fließen sie schnell und heftig zusammen, und die Flasche wird entladen.

Da aber die innere Belegung nicht nur einen elektrischen Wirkungskreis, sondern auch eine elektrische Schlagweite hat, die sich immer destomehr erweitert, je stärker man die Flasche ladet, so kann die Ladung endlich so stark werden, daß sie die äußere Belegung erreicht. So wie aber dieser Umstand eintritt, entladet sich die Flasche von selbst, und wird zertrümmert oder durchlöchert. Eben so kann auch eine Selbstentladung erfolgen, wenn der unbelegte Rand der Flasche staubig oder feucht ist, wodurch die innere und äußere Belegung in leitende Verbindung kommen.

Die verstärkte Elektrizität einer geladenen Flasche besteht demnach in der Anhäufung der entgegengesetzten Elektrizitäten auf den beiden Belegungen, wobei jedoch die Elektrizität der innern Belegung immer etwas stärker ist, als die der äußern. Auf das Elektrometer kann nur dieser Ueberschuß allein eine Wirksamkeit zeigen. Daher kommt es auch, daß ein Quadrantelektrometer, das man während der Ladung auf den Conductor setzt, nicht so hoch steigt, als wenn man durch eine gleiche Anzahl von Umdrehungen den Conductor allein elektrisirt. Eben so leicht läßt sich auch einsehen, warum die Flasche bei'm Laden nicht isolirt sein darf. Ist sie wirklich isolirt, steht sie z. B. während der Ladung auf Glas, Harz oder Seide, so kann die negative Elektrizität der äußern Fläche sich nicht von ihrer positiven los machen, diese kann nun nicht abströmen, und es findet auch keine Vertheilung statt. Die innere Ladung kann daher nur sehr schwach ausfallen. Uebrigens kann man eine Flasche auch dadurch laden, daß man die äußere Belegung an den Conductor hält, indem man die Flasche bei dem hervorragenden Knopf der innern Belegung faßt. Alsdann wird zwar die äußere Belegung positiv, die innere negativ elektrisirt werden, allein alle Erscheinungen, wie leicht zu erachten, durchaus dieselben bleiben. Weil nun Alles, was zwischen der leitenden Verbindung der beiden Belege einer Verstärkungsflasche sich befindet, bei der Entladung derselben heftig erschüttert wird, so nennt man diese Verbindung den Erschütterungskreis.

Zu bemerken ist jedoch, daß die verstärkte Elektrizität einer Verstärkungsflasche nicht sowohl in den beiden Belegungen, als vielmehr auf den Flächen des Glases selbst befindlich ist. Die metallischen Belegungen dienen eigentlich nur dazu, die Flasche mit einem Male entladen zu können. Hiervon kann man sich überzeugen, wenn man die Flasche, statt der äußern Belegung, in einen Pappüberzug setzt, in den sie ordentlich einpaßt, und diesen mit Staniol überzieht. Dieser bildet dann die äußere Belegung; auf ähnliche Weise muß man auch innerhalb der Flasche einen metallischen Ueberzug anbringen, der als innere Belegung dient. Nimmt man nun, nachdem die Flasche geladen ist, beide Belegungen hinweg, die innere jedoch, wie sich das von selbst versteht, mittelst eines isolirenden Handgriffs, so bleibt die Flasche dennoch geladen, und kann noch immer, auch wenn man ihr andere Belegungen anlegt, entladen werden.

Weil in der Luft viele leitende Dünste enthalten sind, so kann auch eine geladne Verstärkungsflasche, wenn sie vom Conductor entfernt wird, ihre Ladung nicht auf lange Zeit behalten. Indessen hat man doch einen



Digitized by Google

Apparat erdacht, wodurch man den Zutritt der Luft von dem Innern der Flasche abhalten und sie so lange geladen erhalten kann. Will man aber eine geladne Flasche nach und nach und ohne Geräusch entladen, so muß man beiden Belegungen einen spitzen Ausladen entgegen halten.

Da das Wesentlichste der Verstärkung auf der Verbindung eines nicht leitenden, nicht zu dicken Körpers mit einer leitenden Belegung beruht, indem ohne diese Belegung der nicht leitende Körper nicht über seine ganze Oberfläche elektrisirt wird, so kann man auch statt einer Flasche eine Glas- oder Harztafel nehmen, und ihr auf beiden Seiten eine metallische Belegung geben. Eine solche Tafel wird eine Verstärkungstafel, auch die Franklin'sche Tafel genannt. Flaschen sind aber bequemer zu gebrauchen. Enge Flaschen, die man von innen nicht belegen kann, braucht man nur bis zur Höhe der äußern Belegung mit Schrot oder Eisenfeile zu füllen, ja selbst nur mit Wasser, wie dieses in der ersten Zeit der Entdeckung geschah.

Je größer die belegten Flächen einer Flasche sind, desto größer ist auch die Verstärkung, die man unter gleichen Umständen erhält. Wenn man daher mehrere Verstärkungsflaschen so zusammen setzt, daß sowohl alle innere Belegungen unter sich eine leitende Verbindung bekommen, als auch alle äußere Belegungen, so kann man hierdurch die Verstärkung außerordentlich weit treiben. Verstärkungsflaschen, welche auf diese Art miteinander verbunden sind, werden eine elektrische Batterie genannt. Um diese Verbindung auf eine einfache Weise zu Stande zu bringen, setzt man die Flaschen, die dann in der Regel alle einerlei Gestalt und Größe haben, in einen wie ein Flaschenkeller (Flaschenfutter) gestalteten Kasten, dessen Boden mit Staniol belegt ist. Dadurch sind schon alle äußere Belegungen in der gehörigen Verbindung. Die innern Belegungen verbindet man durch Drähte, welche um die aus den Flaschen hervorragenden Metallstäbe gelegt werden. Geladen wird, bei einer solchen Verbindung, die ganze Batterie schon dadurch, daß man bloß die innere Belegung einer einzigen Flasche mit dem Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine verbindet. Da die Wirkungen einer geladenen Batterie von einer Stärke sind, die große Vorsicht erfordern, wenn sie nicht gefährlich werden sollen, so wäre es sehr zu wünschen, daß man sichere Kennzeichen hätte, nach welchen sich die Stärke der Ladung jedesmal genau beurtheilen ließe, allein bis jetzt hat man hierzu noch kein völlig probates Mittel gefunden. Man muß daher bei jeder Batterie erst die Anzahl der Umdrehungen, die mit einer gewissen Elektrisirmaschine zu machen sind, um die Batterie nicht zu überladen, aus einzelnen Versuchen kennen lernen. Ohne Gefahr kann man aber eine Batterie mit dem angegebenen Ausladen mit isolirtem Handgriff entladen. Noch mehr als bei einer einzelnen Verstärkungsflasche ist jedoch bei einer Batterie auf den Rückstand Rücksicht zu nehmen, da dieser hier, wenn die Ladung sehr stark war, dem menschlichen Körper noch immer gefährlich werden kann. Daher muß man die Entladung einige Mal hintereinander wiederholen. Von dem einfachen Funken, den man aus dem Conductor der Elektrisirmaschine erhält, ist aber auch der Batteriefunke oder der verstärkte Funke nicht dem Wesen nach, sondern nur in Hinsicht seiner Stärke verschieden. Zu der großen Elektrisirmaschine zu Harlem gehören auch eben so große Batterien, deren Wirkung ungeheuer ist. Die größte derselben besteht aus 100 Flaschen, deren Belegungen 550 Quadratschuh betragen.

Digitized by Google

§ 231. (Elektrophor.) Schon im Jahre 1762 erfand der dänische Naturforscher Wilke Mittel, die beiden metallischen Belegungen einer Verstärkungstafel so einzurichten, daß sie, nachdem die Tafel geladen war, abgenommen werden konnten, und die Tafel dennoch geladen blieb (§ 230). Die Erfindung des eigentlichen Elektrophors oder beständigen Elektrizitätsträgers gehört aber dem Scharfsinn an, womit Alexander Volta zu Pavia die Elektrizität zu behandeln verstand, und wurde von ihm 1775 bekannt gemacht.

Der Elektrophor besteht aus einer runden Schüssel, die man die Form nennt, und die äußerlich mit Staniol überzogen ist. Inwendig ist die Form mit Pech, Harz, irgend einer harzigen Mischung oder Schwefel ausgegossen, welchen Ausguß man den Kuchen nennt. Die Oberfläche des Kuchens muß spiegelglatt seyn, bis nahe an den Rand der Form reichen und darf nirgends einen Riß haben, auch nicht staubig seyn. Noch gehört zu einem Elektrophor eine Scheibe, die man den Deckel nennt. Da der Deckel, wenn er auf den Kuchen gesetzt wird, den Rand der Form nicht berühren darf, so ist sein Durchmesser etwas kleiner, als jener der Form. Uebrigens muß der Deckel aus einer leitenden Materie bestehen, daher entweder aus Metall verfertigt seyn, oder aus Holz oder Pappe mit Staniol überzogen, und darf keine Unebenheiten, auch keine spitzige und scharfe Kanten haben. Um ihn isolirt aufsetzen und abheben zu können, muß er entweder einen gläsernen Handgriff haben, oder er wird wie eine Wagschale aufgehängt, wozu man denn drei oder vier Schnüre von reiner trockner Seide nimmt, woran er sich halten läßt. Form und Kuchen zusammen werden auch die Basis oder die Unterscheibe, der Deckel, die Oberscheibe, zuweilen auch die Trommel, genannt.

Wird der harzige Kuchen mit einem trocknen Katzenbalg oder Fuchsschwanz tüchtig gepeitscht, so wird er negativ elektrisirt, und das Elektrophor zeigt dann folgende Erscheinungen:

1) Wenn der Deckel auf den Kuchen gesetzt wird, so bringt die freie negative Elektrizität des Kuchens die Elektrizität des Deckels aus dem Gleichgewicht, und strebt nach Vereinigung mit dessen positiver Elektrizität. Da diese Vereinigung aus Mangel von Ecken und Spitzen, und weil der Deckel den leitenden Rand der Form nicht berührt, nicht erfolgen kann, so wird der Deckel durch Vertheilung elektrisirt; seine positive Elektrizität strebt nach dem Kuchen hin, und auf seiner oberen Fläche wird dann negative Elektrizität frei.

2) Hebt man den Deckel wieder von dem Kuchen weg, so sinken seine vertheilten Elektrizitäten, so wie er aus dem elektrischen Wirkungskreis des Kuchens kommt, augenblicklich wieder zusammen, und er kann dann keine Spur von Elektrizität zeigen.

3) Wird aber der Deckel, ehe man ihn von dem Kuchen weghebt, erst mit dem Finger berührt, so erhält man einen kleinen Funken, indem sich seine freie negative Elektrizität mit der positiven des Fingers sättigt. Wird er darauf isolirt vom Kuchen abgenommen, so wird seine positive Elektrizität, die der Kuchen gebunden hatte, frei, so wie er aus dem Wirkungskreis des Kuchens kommt. In diesem Zustand stößt der Deckel ein positiv elektrisirtes Korkkügelchen ab, und gibt bei Annäherung eines stumpfen Leiters einen lebhaften Funken, indem sich seine freie positive Elektrizität schnell und heftig mit der negativen des Leiters vereinigt.

Digitized by Google

4) Werden, ehe man den Deckel abnimmt, Form und Deckel zugleich berührt, so erhält man einen erschütternden Schlag, besonders wenn die Form auf einem Isolatorium steht. Die abgestoßene positive Elektrizität der Form und die abgestoßne negative Elektrizität des Deckels haben nämlich in dieser Berührung eine heftige Vereinigung gefunden. Hebt man darauf den Deckel ab, so zeigt er freie positive Elektrizität, und gibt, bei der Annäherung des Fingers, einen kleinen Funken.

Daraus, daß, wie die angegebenen Versuche augenscheinlich darthun, bei der Aufsetzung des Deckels auf den Kuchen keine Mittheilung, sondern nur Vertheilung der Elektrizität stattfindet, geht also der Schluß hervor, daß zwei breite Flächen, von denen die eine ein Nichtleiter, die andere ein Leiter ist, sich keine Elektrizität mittheilen können.

Da der Deckel bloß durch Vertheilung, und nicht durch Mittheilung elektrisirt wird, so verliert auch der Kuchen, wenn einmal Elektrizität in ihm erregt worden ist, diese durch abwechselndes Aufsetzen und Abnehmen des Deckels nicht so bald, und kann daher, wenn er vor Feuchtigkeit und Staub geschützt ist, in trockner Witterung manchmal auf mehrere Monate im elektrisirten Zustand verbleiben, woher auch der Elektrophor seinen Namen hat. Obgleich der Kuchen des gewöhnlichen Elektrophors aus einer harzigen Mischung besteht, so ist dieses doch nicht gerade nothwendig, denn der Elektrophor kann auch von Glas seyn, und im Grunde ist auch jeder Glasspiegel als Elektrophor zu gebrauchen. Wird ein Glaselektrophor mit Amalgama gerieben, und der Deckel aufgesetzt, so kommen auch dieselben Erscheinungen zum Vorschein, nur die Art der Elektrizität verändert sich, weil das Glas positiv elektrisirt wird.

Es läßt sich leicht einsehen, daß die Basis eines Elektrophors die Stelle einer Elektrisirmaschine und der Deckel die des Conductors vertritt, und daß man daher auch eine Flasche damit laden kann, wenn man den Deckel zu wiederholten Malen auf den Kuchen setzt, ihn vor dem Aufheben jedesmal berührt, und dann an den Knopf der Flasche bringt.

Nimmt man den Knopf einer geladenen Flasche in die Hand, und schiebt ihr äußeres Belege auf den Kuchen des Elektrophors fort, so geht die positive Elektrizität der Flasche dadurch nach und nach durch die Hand fort, und der Kuchen ladet sich mit der negativen Elektrizität, die auf der äußeren Belegung der Flasche gebunden war. Daher kann man auch einen Elektrophor auf diese Weise elektrisiren, und zwar weit stärker als durch das Peitschen mit einem Fuchsschwanz oder dergleichen, aber der elektrische Zustand hält nicht so lange an.

Auch kann man mit einem Elektrophor eine neue Eigenthümlichkeit der positiven und negativen Elektrizität entdecken. Man ladet nämlich eine Flasche stark mit positiver Elektrizität, faßt sie bei der äußern Belegung, und macht mit dem Knopf der innern Belegung beliebige Züge auf dem Kuchen, dem man vorher durch ein aufgedrücktes leinenes Tuch alle Elektrizität genommen hat. Dann bepudert man den Kuchen mit einem feinen Staube, z. B. mit Hexenmehl, so werden die Züge sichtbar, und zeigen sich mit Strahlen umgeben. Ladet man aber die Flasche mit negativer Elektrizität, und verfährt wie vorhin, so zeigen sich die Züge ohne Strahlen. Cavallo hat dieses zuerst bemerkt, Lichtenberg aber hat zuerst diese Figuren sorgfältig beobachtet und beschrieben, daher sie auch Lichtenbergische Figuren genannt werden. Mit Hülfe dieser Figuren kann man sich auch überzeugen, daß eine geladene Flasche, deren innere

Digitized by Google

Belegung positiv elektrisirt worden ist, auf ihre äußere Belegung negative Elektrizität hat. Schreibt man nämlich mit dem Knopfe auf den Kuchen, so kommen nach dessen Bepuderung jene Züge zum Vorschein, welche der positiven Elektrizität angehören. Faßt man hingegen die innere Belegung isolirt an, und schreibt nun mit dem Rande der äußern Belegung, so kommen nach der Bepuderung jene Züge zum Vorschein, welche der negativen Elektrizität eigen sind.

§ 232. (Condensator.) Der Condensator oder das Mikro-Elektrometer ist eine Geräthschaft, womit man sehr geringe Grade von Elektrizität bemerklich machen und verstärken kann. Seine Erfindung fällt um das Jahr 1783 und gehört ebenfalls dem berühmten Volta an. Der Condensator unterscheidet sich von dem Elektrophor nur darin, daß er nicht, wie dieser, einen guten Nichtleiter, sondern einen Halbleiter zur Basis hat. Man kann zwar zur Basis eines Condensators ebenfalls einen Harzkuchen nehmen, allein er muß dann sehr dünn seyn. Am tauglichsten hierzu ist jedoch eine abgeschliffene Metallplatte, mit dünnem Taffet, oder einer sehr dünnen Lage von Firniß überzogen, oder überhaupt auch nur eine trockne durchwärmte Marmorplatte. Der Deckel ist so wie bei dem Elektrophor. Wenn man den Deckel des Condensators auf die Basis setzt, so wird die negative Elektrizität der Basis von der positiven Elektrizität des Deckels gebunden. In diesem Zustand, in welchem auch die positive Elektrizität des Deckels gebunden ist, wächst demnach dessen Empfänglichkeit für Elektrizität, wodurch er fähig wird, die Elektrizität eines ihm genäherten Körpers in sich aufzunehmen. Will man nun durch den Condensator untersuchen, ob ein Körper, z. B. eine völlig entladene Flasche, einige Elektrizität besitze, so stelle man den Deckel auf die Basis und bringe den Körper, dessen Elektrizität man erforschen will, in eine leitende Verbindung mit dem Deckel. Hat der Körper wirklich einige Elektrizität, so wird ihm diese von dem Deckel entzogen, allein so lange er auf der Basis steht, ist keine Spur von freier Elektrizität an demselben wahrzunehmen. So wie aber der Deckel isolirt von der Basis weggenommen wird, so weit, daß die Basis aus dessen Wirkungskreis kommt, so wird er auf das Elektrometer sich wirksam zeigen. Als Beispiel für den Gebrauch des Condensators mag Folgendes dienen: Man lege einige glimmende Kohlen in ein metallnes Gefäß, stelle dieses auf den Deckel des Condensators, und gieße etwas Wasser auf die Kohlen. Nachdem diese sich verdunstet haben, bringe man den Deckel an ein Elektrometer, und es wird sich zeigen, daß bei dieser Verdunstung einige Elektrizität frei geworden ist.

Die Eigenschaft der Basis, daß sie weder ganz leitend, noch ganz nichtleitend seyn darf, ist aber leicht einzusehen. Wäre die Basis eines Condensators ganz leitend, so würde der Deckel alle ihm zugeführte Elektrizität wieder verlieren. Wäre sie aber ganz nichtleitend, so würde keine Vertheilung stattfinden, der Deckel demnach die ihm zugeführte Elektrizität nicht aufnehmen, und die Basis könnte durch die Reibung, welche bei'm Auflegen des Deckels stattfände, leicht selbst etwas elektrisirt werden.

Uebrigens hat Lichtenberg gezeigt, daß man statt der halbleitenden Platte auch eine dünne Luftschichte, welche ebenfalls ein schlechter Leiter ist, zur Basis eines Condensators machen kann. Diese erhält man dadurch, daß man eine Metallplatte mit drei sehr kleinen Stückchen Glas belegt, oder drei Tropfen Siegellack darauf fallen läßt, welche die Form

Digitized by Google

eines gleichseitigen Dreiecks begränzen. Die Luftschichte, die dann zwischen der Platte und dem Deckel liegt, wenn dieser auf den Glasstückchen oder den Siegellacktropfen ruht, bildet die Basis des Condensators.

§ 233. (Elektrische Phänomene und Versuche.) Welchen Einfluß die Elektrizität auf einen Körper habe, so lange sie in demselben ein ungestörtes Gleichgewicht behält, ist zwar ganz und gar unbekannt, desto auffallender aber erkennt man die Wirkungen derselben, wenn sie in einem Körper in ihrem Gleichgewicht gestört ist, und noch mehr, wenn sie Mittel findet, aus einem Körper in einen andern überzugehen. Wie groß aber in der That der Antheil seyn muß, den die Elektrizität, die im freien Zustande keinen unserer Sinne unberührt läßt, an den Naturerscheinungen hat, und welche wichtige Rolle sie in der geheimen Werkstätte der Natur spielt, ist in neuerer Zeit durch eine Menge höchst merkwürdiger Versuche und Beobachtungen unwidersprechlich dargethan worden.

1) Durch die elektrische Anziehung und Abstoßung können Körper in Bewegung kommen. So wird z. B. eine Kugel, die an einem seidenen Faden hängt, zwischen dem Conductor und dem Reibzeug hin- und herbewegt.

2) Durch die Gewalt, mit welcher die Elektrizität ihr aufgehobenes Gleichgewicht wieder herstellt, und durch den Funken, der sich dabei entwickelt, können feste Körper, und zwar nichtleitende noch mehr als leitende, durchbohrt, von einander gerissen und zersplittert, tropfbare und expansible Flüssigkeiten ausgedehnter werden.

3) Der elektrische Schlag bewirkt bei manchen Körpern, durch welche er geht, ein Phosphoresciren, d. h. ein Vermögen, im Dunkeln zu leuchten. Ein solches Leuchten bemerkt man auch im Dunkeln bei einem Barometer, besonders wenn dessen Torricellische Leere nicht ganz luftleer ist, wenn man das Quecksilber darin wiederholt durch die Röhre auf- und abwärts laufen läßt. Auch die Leuchtsteine (§ 217) beginnen im Dunkeln zu leuchten, wenn sie in der Nähe eines elektrischen Funkens liegen.

4) Daß die Elektrizität Wärme erregt, zeigt sich nicht nur am Thermometer, auf welches sie etwas anhaltend wirkt, sondern auch darin, daß sie Metall glühend machen, sogar schmelzen kann, und brennbare Substanzen zu entzünden vermag.

5) Die Elektrizität vermag unter gewissen Umständen dem Magnet seine Kraft zu nehmen, dagegen aber auch Eisen magnetisch zu machen.

6) Wie groß die chemischen Wirkungen der Elektrizität sind, kann nach Allem, was bis jetzt hierin von geschickten Chemikern aufgefunden worden ist, gar nicht mehr bezweifelt werden, und läßt sich schon aus ihrer Fähigkeit, erwärmten Weingeist zu entzünden, und aus der Wasserbildung vermittelst der Knallluft erkennen (§ 132. III). Wird die Elektrizität eines elektrisirten Conductors in zwei sehr feine Platindrähte geleitet, die in gläserne Haarröhrchen eingeschmolzen sind, und diese Vorrichtung so in ein Gefäß mit Wasser gestellt, daß die beiden äußerst kleinen Enden der Drähte nur einen sehr kleinen Abstand von einander haben, so wird das Wasser in seine beiden Bestandtheile zerlegt, und nach Faraday der Sauerstoff am positiven Drahte ausgeschieden.

7) Versuche und Beobachtungen haben auch genügend dargethan, daß bei sehr vielen Lufterscheinungen die Elektrizität mit im Spiele ist, und daß die Atmosphäre, im Sommer, wie im Winter, der Himmel mag heiter oder bewölkt seyn, ihre Herrschaft unausgesetzt empfindet.

Digitized by Google

8) Auch auf die organische Natur ist die Elektrizität gewiß von mancherlei Einfluß, den wir vielleicht nie einmal ganz inne werden. Ausgemacht ist ihre Einwirkung auf den thierischen Körper, besonders auf das Nervensystem, dem sie bei manchen Zufällen zum Heilmittel werden kann, das sie aber auch so heftig zu erschüttern vermag, daß sie lebenszerstörend wirkt.

9) Ungeheuer groß ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektrizität sich fortpflanzt. Nach Wheatstone, der darüber viele Versuche angestellt hat, beträgt diese Geschwindigkeit über 62000 Meilen in einer Sekunde, namentlich in einem Kupferdrahte, und ist demnach noch um die Hälfte größer, als die des Lichts, während der elektrische Funke noch nicht eine Millionstel Sekunde dauert.

10) Interessante Versuche über Elektrizitätserregung durch stark comprimirten Wasserdampf hat Armstrong angestellt, und die dadurch veranlaßt wurden, daß ein Arbeiter eine elektrische Einwirkung wahrnahm, als er eine Hand in den Dampfstrom aus einem Risse in einem Dampfkessel hielt, während er mit der andern Hand das Ventil berührte. Die von Armstrong deßhalb angestellten Versuche ergaben, daß sehr stark comprimirte Wasserdämpfe, die durch Röhren ausströmen, wo sie sich stark reiben, einen isolirten Leiter, auf dessen Spitzen sie zuströmen, sehr stark positiv elektrisiren, während in dem Dampfkessel, der ebenfalls isolirt seyn muß, negative Elektrizität zurückbleibt, und construirte hiernach eine neue Art Elektrisirmaschinen, die Hydroelektrisirmaschine. Die erstaunlichen Wirkungen dieser Maschine, bei welcher der isolirte Dampfkessel, der von innen geheizt wird, so stark seyn muß, daß er einen Druck von 8 — 9 Atmosphären aushalten kann (§ 181), veranlaßte das polytechnische Institut zu London einen Apparat der Art von ungeheurer Größe verfertigen zu lassen. Diese Maschine, welche aus einem eisernen auf sechs starken Glassäulen ruhenden Dampfkessel von $3^1/_2$ Fuß Durchmesser und $6^1/_2$ Fuß Höhe besteht, und aus welchem der Dampf aus 46 eisernen dazu eingerichteten Röhren entweicht, nachdem er eine Spannung erlangt hat, die auf jeden Quadratzoll bis auf 75 Pfund gesteigert werden kann, ist von außerordentlicher Wirkung, und gibt mehrere Zoll lange Funken. Faraday, der sich mit dieser neuen Art Elektrizitätserregung viel beschäftigte, und neue Einrichtungen dafür erfand, ist der Meinung, daß der elektrische Zustand durch die Reibung entstehe, welche die niedergeschlagenen Wassertheilchen an den Wänden der Röhren erleiden, durch deren besonders dazu eingerichteten Mündungen der Dampf mit Heftigkeit ausströmt, und hat gefunden, daß der isolirte Leiter negative, dagegen der isolirte Dampfkessel positive Elektrizität bekommt, wenn er etwas Oel oder Wachs in die Dampfkugel brachte, und daß keine Elektrizität sich zeigte, wenn Schwefelsäure in die Dampfkugel gebracht und Zink in den Dampfstrom gehalten wurde. Auch Seguier, Peltier u. A. haben interessante Beiträge zu Versuchen mit dieser Maschine geliefert.

Daß eine solche Kraft von einem solchen Einfluß auch im Kleinen zu allerlei Versuchen, Kunststücken und belustigenden Spielwerken benutzt werden kann, ist leicht einzusehen, und mehr wie ein Buch kann davon Zeugniß geben, wie reich in dieser Hinsicht die Ausbeute schon gewesen ist. Hier muß es genügen, Einiges davon angeführt zu sehen.

So wie durch die Elektrizität der Scheibe auch der Conductor, wenn er isolirt ist, elektrisirt wird, so kann jeder andere isolirte Leiter elektrisirt

Digitized by Google

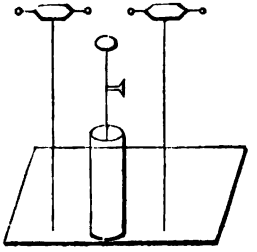
werden. Daher kann ein Mensch, der auf einem Isolatorium steht, und den Conductor berührt, während die Elektrisirmaschine in Thätigkeit ist, elektrisirt werden. In diesem Zustand, der aber ohne Nachtheil für den Körper ist, sträuben seine Haare sich empor, und können Funken aus allen Theilen des Körpers ausgezogen werden, deren Stich wohl fühlbar ist. Greift man ihn an, so empfindet er an der angegriffenen Stelle einen stechenden Schmerz.

Die Bewegung, welche durch die elektrische Anziehung und Abstoßung entsteht, hat man zu einer Menge kleiner Apparate benutzt, die so eingerichtet sind, daß man kleine leichte Körperchen in den Wirkungskreis des elektrisirten Conductors der Elektrisirmaschine, oder des elektrisirten Deckels eines Elektrophors, bringen kann, wo dann diese Körperchen in tanzende Bewegung kommen, wie dieses z. B. der Fall ist mit kleinen Kügelchen aus Hollundermark, die in einem zugedeckten Glase liegen können, mit Püppchen aus Hollundermark oder Papier, mit feinem trocknen Sand, der zu wirbeln anfängt, mit kleinen Schnitzchen Goldpapier, die den sogenannten goldnen Regen bilden, mit dem elektrischen Glockenspiel, wo elektrisirte Glöckchen ein zwischen ihnen hängendes Kügelchen abwechselnd anziehen und abstoßen, und daher zu klingeln anfangen. Haarbüschel und Baumwolle, die in dem elektrischen Wirkungskreise befestigt sind, daher nicht wegfliegen können, schwellen auf.

Durch das Ausströmen der elektrischen Materie aus Spitzen kann man in kurzer Zeit die Luft in einem kleinen Zimmer elektrisiren, was durch ein Elektrometer bemerkbar gemacht werden kann. Setzt man auf eine solche Spitze ein leichtes metallenes, wie ein großes lateinisches S gestaltetes, Körperchen in seinem Schwerpunkt auf, so kommt es in eine drehende Bewegung und läuft dabei, wie Segner's Wasserrad, rückwärts um (§ 94). Auch gibt es hierzu noch manche andere belustigende Apparate. Der Lichtschein, der sich im Finstern um den Kopf eines elektrisirten Menschen bildet, wenn er denselben mit einem Draht, der mit vielen hervorragenden Spitzen versehen ist, umlegt, und den man nach seinem Erfinder die Bosische Apotheose oder den Heiligenschein nennt, beruht ebenfalls auf dem Ausströmen der Elektrizität aus Spitzen. Da die atmosphärische Luft, selbst wenn sie recht trocken ist, ein immer besserer Leiter der Elektrizität wird, je mehr sie sich verdünnt, so hat man auch allerlei Vorrichtungen, wo man aus Spitzen, die unter einem Recipienten der Luftpumpe angebracht werden können, in einem luftverdünnten Raume die Elektrizität ausströmen lassen kann, und wobei sehr hübsche Lichterscheinungen zu bemerken sind.

Unzählig sind die Versuche, welche auf der Verstärkung der Elektrizität beruhen, und theils mit einer einzigen Flasche, theils mit einer Batterie angestellt werden können. Viele Versuche, besonders mit einer Batterie, erfordern noch einen kleinen Apparat, den man den Henley'schen allgemeinen Auslader nennt. Dieser Auslader besteht aus einem etwa einen Fuß langen und einen halben Fuß breiten Brettchen (Fig. 196), an dessen beiden Enden eine isolirte Säule steht. Jede Säule trägt einen in einer Hülse liegenden Draht, der außenher umgebogen ist, einwärts aber, wo die beiden Drähte einander

Fig. 196.



Digitized by Google

gegenüber stehen, ohne sich zu berühren, hat jeder eine kleine Kugel, und wenn diese abgenommen wird, eine Spitze. Die Drähte können übrigens hin- und hergeschoben, horizontal und vertikal gestellt werden. Zwischen den Säulen steht ein Tischchen von gedörrtem Holz, auf welches allerlei Dinge gelegt werden können, und welches man höher und niedriger richten, auch ganz wegnehmen kann. Bei dem Gebrauche, wo der Körper, auf den man den elektrischen Schlag einer Batterie wirken lassen will, z. B. um einen Büschel, mit Schießpulver oder einer andern leicht entzündlichen Materie bestreuter, Baumwolle anzustecken, auf dem Tischchen liegt, wird der eine Draht mit der äußern Belegung der Batterie mittelst eines Metallkettchens in Verbindung gebracht. Durch ein gleiches Kettchen wird auch der andere Draht mit dem gemeinen Ausladen (§ 230) so verbunden, daß er dadurch ein Zubehör der innern Belegung der Batterie wird. Bei der Entladung muß dann der elektrische Funke durch den Körper gehen, der auf dem Tischchen liegt.

Daß die Entladung einer Verstärkung allemal erfolgt, sobald die innere und äußere Belegung in leitende Verbindung kommen, wie lang diese Verbindung auch seyn mag, kann man daraus abnehmen, daß eine lange Reihe von Menschen, von denen einer den andern bei der Hand gefaßt hat, den elektrischen Schlag in demselben Augenblick empfindet, wo der Erste die äußere, der letzte die innere Belegung berührt, wenn gleich die ganze Reihe auf dem Erdboden steht, und nicht isolirt ist.

Durch Versuche hat man auch gefunden, daß die Elektrizität, wenn sie bei der Entladung die Wahl zwischen einem bessern und schlechtern Leiter hat, in der Regel immer durch den bessern geht, und den schlechtern dann gar nicht berührt. Wenn daher Jemand das eine Ende eines Drahts an die äußere Belegung, das andere Ende an die innere Belegung anlegt, so muß die Ladung schon sehr stark seyn, wenn er durch die Entladung erschüttert werden soll, weil die Elektrizität lieber durch den Draht geht, der ein besserer Leiter, als der Mensch ist. Nur dann, wenn der Weg durch den schlechtern Leiter viel kürzer ist, als der durch den bessern, geht sie gern durch den kürzern Weg. Es kann sogar die Verbindungskette an einigen Stellen unterbrochen seyn, und der elektrische Funke dennoch durch die ganze Verbindung sich fortschlängeln, wenn nur die Zwischenräume nicht zu groß sind. Der Funke springt an einer solchen Stelle schlagend und blitzend über. Hierauf beruhen die Versuche mit der Blitzkette, der Blitztafel und den leuchtenden Figuren und Namen.

Läßt man den verstärkten Funken durch einen Apfel, eine Citrone, ein Ei, ein Stück Quarz, weißen Zucker und dergl. m. gehen, so werden sie phosphorescirend. Ein Kartenblatt, nach Maßgabe der Verstärkung sogar ein ganzes Spiel übereinanderliegender Karten, ein dickes Stück Pappe, Blätter von Staniol und Blei, $^1/_4$ Zoll dickes Holz werden durch einen solchen Funken durchbohrt. Bei diesen Durchbohrungen ist besonders der Umstand merkwürdig, daß die Löcher immer auf beiden Seiten einen aufgeworfenen Rand haben. Feine Metallfäden werden durch einen solchen Funken glühend, oft auch geschmolzen und oxydirt, oder gar verbrannt, und ächtes Blattgold oder Blattsilber, welches zwischen Glasstreifen gepreßt ist, in das Glas eingeschmolzen. Ist das Blattgold oder Blattsilber unächt, so verliert es stellenweis durch Oxydation seine Farbe. Befestigt man, vermittelst Wachses oder Siegellacks, einen Draht so an dem einen Ende eines Stück Glases, daß er aufrecht stehen und oben eine hohle messingene Kugel tragen kann, und

Digitized by Google

hält an der untern Seite des Glases, dem Drahte gegenüber, einen abgerundeten leitenden Körper, so bekommt das Glas, wenn man dann schnell mit der Kugel des Drahtes gegen einen stark elektrisirten Conductor fährt, durch den herausfahrenden Funken gewöhnlich ein sehr feines Löchelchen, ringsum mit kleinen Rissen umgeben, wird aber bei diesem Versuche nicht zersplittert. Durch den verstärkten Funken aber, besonders wenn er von einer Kante des Glases zur andern geht, wird das Glas zersplittert. Wird ein gläsernes Fläschchen mit Oel gefüllt, dann zugepfropft und durch den Pfropfen ein Draht gesteckt, der so umgebogen ist, daß dessen Spitze die innere Fläche des Fläschchens berührt, sein äußeres Ende aber an den Conductor angehängt werden kann, so wird das Fläschchen durch den herausfahrenden Funken ebenfalls durchbohrt, wenn an die äußere Fläche des Fläschchens, der Drahtspitze gegenüber, eine Metallkugel gehalten, und so der Funke durch diese Stelle geleitet wird. Steckt man in eine mit Wasser gefüllte Glasröhre, deren Enden zugepfropft sind, durch jedes Ende einen Draht, so daß beide Drähte etwa einen halben Zoll von einander abstehen, so wird die Röhre durch den Funken, der zwischen den Drähten unter dem Wasser entsteht, mit Heftigkeit aus einander gerissen, zumal durch den Batteriefunken. Durch den starken Batteriefunken der großen Elektrisirmaschine zu Harlem ist sogar der merkwürdige Versuch gelungen, mehrere Metallkalke wieder zu Metall zu reduciren, z. B. Zinnasche wieder als Zinn herzustellen, indem man den Schlag durch die Verkalkung gehen ließ. Mittelst eines dazu eingerichteten sogenannten Donnerhäuschens läßt sich auch im Kleinen die Wirkung des Blitzstrahls, wenn er in ein Gebäude fährt, darstellen und der Nutzen des Wetterableiters kenntlich machen. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, daß ein Gebäude nur dann gegen den Blitzschlag gesichert ist, wenn der Gewitterableiter zweckmäßig angebracht, und der zu schützende Raum nicht zu ausgedehnt ist. Nimmt man bei der Anbringung eines solchen Ableiters nicht die gehörigen Rücksichten, so ist er allerdings nur ein sehr unzuverlässiges Schutzmittel, und die Fälle, wo Gebäude, die Wetterableiter hatten, dennoch von dem Blitze getroffen wurden, gehören eben darum gerade nicht zu den sehr seltenen. Kleine Thiere, z. B. einen Vogel, eine Maus u. s. w. kann man durch den Batteriefunken augenblicklich tödten, wenn man sie durch eine Kette mit der äußern Belegung der Batterie verbindet, und dann den Schlag durch den Kopf gehen läßt. Raupen scheinen davon eine merkwürdige Ausnahme zu machen, da sie nicht nur sehr starke Batterieschläge aushalten, ohne getödtet zu werden, sondern sogar den Blitzstrahl, indem man sie an Bäumen, die vom Blitz getroffen waren, unverletzt gefunden hat. Stellt sich Jemand auf ein Isolatorium, nimmt dann ein Glas voll Wasser, in welches er einen Finger eintaucht, in die Hand, und berührt hierauf mit der andern Hand die Kugel einer geladenen Batterie, so entsteht im Wasser ein Funken, so wie Jemand mit dem Finger es berührt, und dieser ist so stark, daß er Zunder zu entzünden vermag. Ueber die Entzündung brennbarer Materien, wie Weingeist, Aether u. s. w., durch den elektrischen Funken lassen sich überhaupt viele Versuche anstellen. Auf der Entzündung des Wasserstoffgases durch den elektrischen Funken beruht auch die Einrichtung der so nützlichen und bequemen elektrischen Lampe oder elektrischen Zündmaschine, deren Gebrauch gegenwärtig fast allgemein bekannt ist. Die Haupteinrichtung derselben besteht aus einem auf dem Boden der Maschine ange-

Digitized by Google

brachten elektrisirten, sogenannten gepreßten Elektrophor mit dem dazu gehörigen Deckel und einem mit Wasserstoffgas gefüllten Gefäße. Durch die Drehung eines Hahns wird dieser Deckel in die Höhe gezogen, und gibt nun einer daselbst angebrachten Kugel einen Funken ab, der dann das aus der engen Oeffnung des Hahns herausfahrende Wasserstoffgas entzündet, und wodurch ein vorgehaltenes Licht angesteckt werden kann. Der Gebrauch der elektrischen Zündlampe hat sich aber sehr vermindert, seit Döbereiner eine andere Art Zündlampe angegeben hat, bei welcher der elektrische Funke nicht nöthig ist. Dieses sind die in neuerer Zeit so sehr in Aufnahme gekommenen, sehr billigen Zündlampen mit Platinschwamm, auf welchen, durch eine einfache Vorrichtung, ein Strom Wasserstoffgas bläst, das sich dann entzündet (§ 132. III).

Viele elektrische Versuche, von denen hier nur ein kleiner Theil namhaft gemacht worden ist, erfordern übrigens eigene Vorrichtungen, hängen oft von allerlei Nebenumständen ab, gelingen daher nicht immer gleich gut, und können selbst den geschicktesten Experimentator zuweilen in Verlegenheit setzen, und ein besonderes Nachdenken in Anspruch nehmen. Insbesondere erfordern eine Menge Versuche mit dem Funken einer stark geladenen Batterie in der Regel eine gewisse, durch Uebung erlangte Geschicklichkeit, wenn sie gelingen, und häufig auch eine weise Vorsicht, wenn sie dem Experimentator nicht Nachtheil bringen sollen. Viele Versuche erfordern auch, daß die Entladung nicht gar zu rasch erfolge. In solchen Fällen bedient man sich dann einer Leitung, die öfters unterbrochen, oder an sich etwas unvollkommen ist. So wird z. B. Schießpulver, welches frei liegend durch den elektrischen Funken entzündet werden soll, weit leichter in diesen Zustand versetzt, wenn der Draht der äußern Belegung durch einen feuchten Zwirnfaden unterbrochen ist. Ohne eine solche Unterbrechung wird das Schießpulver nicht leicht entzündet, meistens nur auseinander geworfen.

§ 234. (Contactelektrizität.) Obgleich Reiben ein so wirksames Mittel zur Erregung der Elektrizität ist, so ist es doch keineswegs das einzige Mittel, wodurch diese wundersame Kraft in Wirksamkeit versetzt werden kann. Der berühmte deutsche Philosoph Sulzer machte schon im Jahre 1767 die Bemerkung bekannt, daß die Zunge, welche mit Blei und Silber in Berührung komme, einen säuerlichen Geschmack empfinde, sobald beide Metalle sich selbst einander berühren. Da man aber damals keinen besondern Werth auf diese Erscheinung legte, so blieb sie auch im Gebiet der Naturforschung ohne Erfolg, bis endlich die wichtige Entdeckung gemacht wurde, daß bei der Berührung zweier verschiedenartigen Metalle, unter gewissen Umständen, elektrische Erscheinungen erzeugt werden. Diese Entdeckung, welche eine reiche Quelle höchst merkwürdiger Untersuchungen geworden ist, fällt um das Jahr 1791, und gehört einem italienischen Arzt und Physiker, Aloysius Galvani zu Bologna, an, ist aber an und für sich ein Werk des Zufalls.

Der bescheidene Galvani erzählt den Ursprung der Entdeckung selbst auf folgende Weise:

„Ich zerschnitt einen Frosch, präparirte ihn (bereitete ihn zur Aufbewahrung zu), und legte ihn, ohne etwas Anders zu vermuthen, auf einen Tisch, auf welchem eine Elektrisirmaschine stand, deren Conductor ziemlich weit davon entfernt war. Als einer meiner Zuhörer die Spitze eines Messers von ungefähr an den innern Schenkelnerven des präparirten Frosches

Digitized by Google

brachte, da wurden die Muskeln aller Glieder sogleich wie von heftigen Zuckungen zusammengezogen, und ein Anderer machte dabei die Bemerkung, daß dieses nur dann geschähe, wenn der Conductor zu gleicher Zeit einen Funken gäbe." Galvani machte hierauf die Bemerkung, daß ein abgeschnittener und von der Haut entblößter Schenkel eines Frosches in dem Augenblick in Zuckungen gerieth, wo der Nerv und der Muskel von zwei verschiedenen Metallen berührt wurde, und beide Metalle einander selbst berührten, daß diese Erscheinung auch an andern Theilen des Frosches bewirkt werden konnte, daß aber die Reizbarkeit der Muskeln, welche zu diesen Versuchen erforderlich sey, eine Zeit lang nach dem Tode des Thiers aufhöre, und durch die Versuche selbst desto schneller verloren gehe. Zu seinen Versuchen bediente er sich eines Metallbogens, der aus Drähten von zweierlei Metallen bestand, wo er dann mit dem einen Bogenende den Muskel, mit dem andern den Nerv berührte, war aber auch der Meinung, daß die Zuckungen auch dann noch, nur schwächer, sich zeigten, wenn der Metallbogen nur aus einerlei Metall bestehe.

Diese merkwürdigen Versuche, die bald alle Physiker, selbst nicht ohne Hintenansetzung der Reibungselektrizität, zu beschäftigen anfing, wurden schnell durch allerlei erdenkliche Abänderungen immer weiter ausgeführt, und so sehr vervollkommnet, daß man gegenwärtig eine Menge ganz eigenthümlicher Wirkungen kennt, die durch Metallberührungen, unter den erforderlichen Bedingungen, zum Vorschein kommen. Galvani, in der Meinung, daß seiner Entdeckung eine Naturkraft zu Grunde läge, eine Elektrizität, die allein nur im thierischen Organismus vorhanden sey, nannte sie eine thierische Elektrizität, indem er Muskel und Nerv als eine Art geladener Leydner Flasche ansahe, und den Metallbogen als deren Entlader. Alexander Volta, dessen Scharfsinn der wichtigste Theil der Entdeckung vorbehalten blieb, zeigte aber, daß der Grund der Erscheinungen nicht in dem thierischen Organismus läge, sondern in der Elektrizität, welche bei der Metallberührung erregt werde, und die, obgleich sie an und für sich nur schwach sey, doch auf die Nerven, die für Elektrizität so empfänglich sind, gleichsam ein sehr empfindliches Elektrometer darstellten, von sichtbarer Wirkung sey. Die bei den Versuchen sich darstellenden Erscheinungen wurden daher mit dem Namen Metallreiz belegt. Als man endlich fand, daß dieser Reiz gerade nicht durch Metalle allein, sondern auch noch durch andere Körper, z. B. durch Graphit, Kohle und dergl. m., hervorgebracht werden könne, da gab man allen dahin gehörigen Erscheinungen, dem ersten Entdecker zu Ehren, den allgemeinen Namen Galvanismus, und in neuerer Zeit Contactelektrizität, Elektrizität durch Berührung. So kann man in einem präparirten Frosche auch ohne Metalle Zuckungen erzeugen, wenn man den vordern Theil desselben mit Schwefelsäure in Berührung bringt, und dessen hintern Theil durch ein Stängelchen Aetzkali damit in Verbindung bringt, wo dann bei'm Eintauchen des Kali in die Säure der Frosch zu zucken beginnt.

Obgleich man aber jetzt mehrere Körper kennt, durch deren Berührung Elektrizität erregt werden kann, so sind doch die Metalle, und unter ihnen Zink in Verbindung mit Kupfer, mit Gold und vorzüglich mit Silber die besten Erreger oder Excitatoren. Auch weiß man jetzt, daß die Wirkungen sich nicht bloß auf Frösche, sondern überhaupt auf alle kaltblütige Thiere, und selbst auf warmblütige, abgenommene Glieder bei

Digitized by Google

menſchlichen Körpers nicht ausgenommen, ſich erſtrecken, daß aber die kaltblütigen nach dem Tode eine längere Empfindlichkeit als die warmblütigen behalten. Körper, die eine große Reizbarkeit beſitzen, können ſogar galvaniſche Erſcheinungen zeigen, d. h. galvaniſirt werden, wenn man ſtatt zweier verſchiedener Metalle zwei gleichartige Metalle als Erreger anwendet, wenn ſie dann nur in Hinſicht der Form, Politur, Härte, Temperatur u. ſ. w. von einander verſchieden ſind. Aber nicht bloß in lebloſen, auch in lebenden Körpern bringt der Galvanismus eigenthümliche Wirkungen hervor. Wird eine wunde Stelle mit zwei verſchiedenartigen Metallen berührt, und werden beide Metalle auch unter ſich in Berührung gebracht, ſo empfindet man in dem Augenblick, wo dieſes geſchieht, einen unangenehmen ſtechenden Schmerz in der Wunde. Hält man ein Zinkſtäbchen oben auf die Zunge, ein ſilbernes Löffelchen unter die Zunge, und bringt beide Metalle vornher in Berührung, ſo empfindet man einen ſäuerlichen Geſchmack, den man ohne dieſe Berührung nicht empfindet. Läßt man dieſe Berührung ſtattfinden, indem man das ſilberne Löffelchen über, das Zinkſtäbchen unter die Zunge hält, ſo iſt der Geſchmack alkaliſcher, nämlich brennend oder ſtechend. Legt man das eine Metall an das obere Zahnfleiſch der rechten Seite, das andere an das linke obere Zahnfleiſch, ſo ſieht man in dem Augenblick, wo beide Metalle vornher ſich berühren, ein blitzähnliches Leuchten vor den Augen. Füllt man einen zinnernen Becher mit reinem Waſſer, und ſtellt ihn auf eine ſilberne Unterlage, berührt ſodann mit der Zungenſpitze das Waſſer, und zugleich mit wohlbefeuchteten Händen die ſilberne Unterlage, ſo empfindet man ebenfalls einen ſäuerlichen Geſchmack, der ohne dieſe gleichzeitigen Berührungen nicht empfunden wird.

§ 235. (Galvaniſche Kette.) So weſentlich übrigens für den Galvanismus die Bedingung iſt, daß die beiden Erreger mit einander in Berührung kommen, ſo kann doch dieſe Berührung auch durch einen dritten Körper, z. B. durch einen Metalldraht, bewerkſtelligt werden. Ein ſolcher dritter Körper wird dann ein galvaniſcher Leiter, ein galvaniſcher Conductor genannt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß Metalle, Waſſer, angefeuchtete Körper, ſo wie überhaupt alle elektriſchen Leiter, auch galvaniſche Leiter ſind, ſo wie dagegen Harze, Glas und andere elektriſche Nichtleiter, auch den Galvanismus nicht leiten. Wird der entblößte Nerv eines Froſchſchenkels mit einer Zinkplatte, und der entblößte Muskel mit einem Stück Blattſilber oder Staniol belegt, und zwiſchen beide Metalle eine leitende Verbindung angebracht, ſo erfolgen ſogleich Zuckungen. Werden aber beide Metalle durch einen elektriſchen Nichtleiter mit einander verbunden, ſo bleiben die Zuckungen völlig aus. Da die Wirkungen des Galvanismus ſehr ſchwach ausfallen, oder auch gar nicht ſich einſtellen, wenn die beiden Erreger auf trockene Stellen eines thieriſchen Körpers angewandt werden, ſo ſcheint es überhaupt für die Erregung des Galvanismus ein weſentliches Erforderniß zu ſeyn, daß die beiden Erreger, in ſo fern es feſte Erreger ſind, z. B. zwei verſchiedenartige Metalle, durch eine leitende Flüſſigkeit mit einander in Verbindung ſtehen. Eine ſolche Verbindung zweier Erreger mit einem Leiter wird eine galvaniſche Kette genannt. Stellt man eine Silber- oder Kupferplatte und eine Zinkplatte ſo in ein Glas voll Waſſer, daß ſie ſich nur außer dem Waſſer berühren, ſo hat man eine galvaniſche Kette. Eine ſolche Kette entſteht auch, wenn man auf eine im Waſſer liegende Silbermünze eine Zinkplatte ſtellt, auch wenn man ein

Digitized by Google

Stück Zink in ein silbernes, mit Wasser gefülltes Gefäß wirft. Statt des Gefäßes kann man auch eine Silber- oder Kupferplatte nur mit einem gleich großen Stück feuchter Pappe oder wollenes Tuch bedecken und darauf eine Zinkplatte legen, was dann ebenfalls eine galvanische Kette gibt.

Der Erfahrung nach geben überhaupt diejenigen Metalle, die in ihrer Verwandtschaft zum Sauerstoff sehr verschieden sind, die besten galvanischen Ketten, weil man wahrgenommen hat, daß bei solchen Metallen die elektrische Spannung oder Intensität, welche in der Berührung entsteht, größer ist, als bei solchen Metallen, deren Verwandtschaft zum Sauerstoff weniger abweichend ist. Auch das hat die Erfahrung gelehrt, daß von zwei Metallen, von denen das eine leichter oxydirt, als das andere, jenes immer positiv, dieses negativ elektrisirt wird, wenn sie durch Berührung in den elektrischen Zustand gerathen. So wird z. B. eine Zinkplatte in Berührung mit einer Kupfer- oder Silberplatte, jene positiv, diese negativ elektrisirt. Die elektrische Spannung der Metalle bilden, der Erfahrung nach, überhaupt folgende Reihe: + Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle, und diese Reihe, welche man die Spannungsreihe nennt, ist so beschaffen, daß jedes vorangehende in der Berührung mit jedem nachfolgenden positiv, das nachfolgende also negativ elektrisirt ist. Die elektrische Spannung ist dabei aber um so bedeutender, je weiter die beiden Metalle, durch deren Berührung sie erregt wird, in der Spannungsreihe von einander abstehen. Auch hat sich gezeigt, daß die Spannung zwischen zwei in der Reihe von einander entfernten Metalle allemal so groß ist, als die Summe der Spannungen aller zwischenliegenden Metalle. So ist z. B. die elektrische Spannung zwischen Zink und Zinn, so groß, als zwischen Zink und Blei, und Blei und Zinn; zwischen Eisen und Silber, so groß, als die Spannung zwischen Eisen und Kupfer, und Kupfer und Silber. Erleiden aber die Metalle auf ihren Oberflächen irgend eine Aenderung, es sei durch Temperaturerhöhung, Oxydation oder Anhaftungen fremdartiger Stoffe, so ändert sich auch die Spannungsreihe ab.

Eine galvanische Kette, welche nur aus drei Leitern besteht, von welchen einer ein flüssiger seyn muß, wenn die beiden andern feste Leiter sind, z. B. eine Zink- und Kupferplatte, wird eine einfache galvanische Kette genannt, und diese heißt eine geschlossene, wenn die beiden Metalle durch einen Metalldraht oder sonst einen Leiter, z. B. durch Froschschenkel, welche vorzügliche Leiter für den Galvanismus sind, in Verbindung gesetzt werden. Die in den Erregern durch die Berührung entstehende galvanische Elektrizität wird durch die leitende Verbindung der geschlossenen Kette entladen, allein so lange die zur Thätigkeit der Kette nothwendigen Bedingungen stattfinden, ladet sie sich auch sogleich wieder von selbst, und so entsteht in einer solchen Kette ein beständiger Strom entgegengesetzter Elektrizitäten von einem Metalle zum andern, durch den schließenden Leiter. Dieser Strom wird der galvanische Strom, und dessen Weg der galvanische Kettenkreis genannt. Von welcher chemischen Wirkung schon eine einfache geschlossene galvanische Kette ist, kann man aus folgendem Versuch wahrnehmen: In ein gläsernes Gefäßchen lege man ein Stückchen Silber oder Kupfer, oder gieße so viel Quecksilber hinein, daß der Boden des Gefäßchens davon bedeckt werde, und fülle es mit verdünnter Salzsäure an. Hält man dann ein Zinkstäbchen in die Säure, so entsteht zwar eine Gasbildung, allein nur

Digitized by Google

in geringer Menge, so lange der Zink außer Berührung mit dem Metalle auf dem Boden des Gefäßchens bleibt. So wie aber diese Berührung stattfindet, und die Kette geschlossen ist, geht die Gasbildung, aus dem Zink sowohl, als dem andern Metalle, sehr lebhaft vor sich. Die dabei thätige Kraft, deren Wirkung an den Stellen haftet, wo die Erreger sich berühren, wird die elektromotorische Kraft genannt. Durch die Zersetzung der beiden Elektrizitäten, die sie bewirkt, wird die positive Elektrizität der Kupferplatte nach der Zinkplatte, und umgekehrt die negative Elektrizität von dieser nach jener getrieben, wodurch in der Zinkplatte die positive, in der Kupferplatte die negative Elektrizität verstärkt wird, und der galvanische Strom eigentlich darin besteht, daß er eine gegenseitige Richtung hat, so daß die eine, welche von dem negativen Metall zu dem positiven sich erstreckt, einen Strom von positiver, die andere, welche von dem positiven Metall zum negativen hinführt, einen Strom von negativer Elektrizität bildet.

§ 236. (Galvanische Batterie.) So wie man aber durch eine zweckmäßige Verbindung mehrerer Verstärkungsflaschen zu einer Batterie die Reibungs-Elektrizität ungemein verstärken kann, so lassen sich auch die Wirkungen des Galvanismus, durch eine schickliche Verbindung mehrerer einfachen galvanischen Ketten, bewundernswürdig steigern. Diese Verstärkung, die man nicht dem Zufall, sondern Volta's Scharfsinn zu verdanken hat, und durch welche erst der Galvanismus ein so wichtiger Gegenstand der Naturforschung geworden ist, besteht in einer über einander geschichteten Reihe von Zink- und Silberplatten, oder, was viel wohlfeiler, daher auch am gewöhnlichsten ist, von Zink- und Kupferplatten, die aber so übereinander geschichtet werden müssen, daß allemal zwischen ein Plattenpaar, und das andere eine mit Wasser oder einer Salzauflösung befeuchtete Papp-, Tuch- oder Hutfilzplatte, die etwas kleiner als die Metallplatte ist, zu liegen kommt. Diese Zwischenlage ist eine wesentliche Bedingung der verstärkten Wirkung der einfachen Ketten. Eine einfache Kette verliert überhaupt ihre ganze Wirkung, und zeigt keine Spur von Elektrizität, wenn eine Kupferplatte mit zwei Zinkplatten, zwischen welchen sie liegt, in Berührung ist, weil, so gelegt, die entgegengesetzten Elektrizitäten sich wechselseitig ausgleichen und aufheben. Werden aber zwei Plattenpaare von Zink und Kupfer in der Ordnung: Zink, Kupfer, Zink, Kupfer, aufeinander gelegt, jedoch ohne Zwischenlage von Feuchtigkeit, so zeigen sich zwar Spuren der Elektrizität, was man mittelst der mikroelektrometrischen Geräthschaften wahrnehmen kann, allein um nichts stärker, als bei einem einzigen Plattenpaare, und so bleibt die Kette immer nur eine einfache, man mag die Verdoppelung der Plattenpaare noch so weit fortsetzen.

Sind aber die einzelnen Plattenpaare von einander getrennt, und zwar durch solche Zwischenlagen, welche die Elektrizität in der Berührung mit den Metallen nicht erregen, so entsteht zwischen den einzelnen Plattenpaaren eine Vertheilung der Elektrizität (§ 229), wodurch die Intensität der einfachen Ketten verstärkt werden muß. Der Erfahrung gemäß sind jedoch Zwischenlagen von guten Nichtleitern, wie Glas, Harze, Seide u. s. w., von geringerer Wirkung auf die Verstärkung der Contactelektrizität in den übereinanderliegenden Plattenpaaren, als einige Halbleiter, namentlich Salzwasser und flüssige Säuren. Auch paßt das Gesetz für die Spannungsreihe der Metalle nicht mehr für diese Flüssigkeiten. Ist

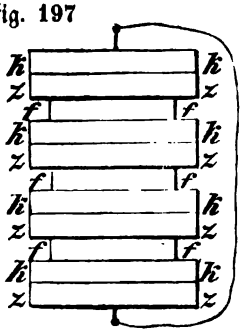


Digitized by Google

Becquerel's Behauptung richtig, so wird das Metall allemal der stärkste Erreger, welches von der Flüssigkeit am meisten angegriffen wird. Durch seine elektrometrischen Versuche hat sich ihm ergeben, daß Platina positiv elektrisch wird mit Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Blei und Zink, wenn man als Flüssigkeit Schwefelsäure anwendet. In eben dieser Flüssigkeit wird dagegen Kupfer negativ elektrisch mit Gold, Silber, Platina und Blei, mit Eisen und Zink aber positiv. Sowohl in dieser, als auch in andern Flüssigkeiten, bleibt aber immer Zink der stärkste und Platin der schwächste Erreger.

Uebrigens muß man in der Uebereinanderschichtung der einzelnen Plattenpaare, wie man leicht einsehen kann, einerlei Ordnung befolgen. Hat man mit Zink angefangen, so legt man auf die Zink- eine Kupferplatte, dann einen feuchten Halbleiter. Auf den feuchten Halbleiter kommt wieder eine Zinkplatte, auf diese wieder eine Kupferplatte, und auf diese abermals ein feuchter Halbleiter zu liegen, und so wird die Schichtung so lange fortgesetzt, bis endlich mit der letzten Platte, welche in diesem Fall eine Kupferplatte seyn muß, aufgehört wird. Hat man aber mit einer Kupferplatte den Anfang gemacht, so muß die Schichtung folgende Ordnung behalten: Kupfer, Zink, Feuchtigkeit; Kupfer, Zink, Feuchtigkeit u. s. f. In diesem Falle muß die letzte Platte, mit welcher aufgehört wird, eine Zinkplatte seyn. Eine solche Reihe übereinander geschichteter, einfacher galvanischer Ketten wird eine galvanische Batterie, eine zusammengesetzte galvanische Kette, eine Kettenkette, ihrem Erfinder zu Ehren eine Volta'sche Säule genannt. Volta selbst hat ihr den Namen Elektromotor beigelegt. Die beiden Platten, welche an den beiden Enden der Säule liegen, werden die Pole oder die Enden genannt, die eine der Zinkpol, das Zinkende, die andere der Kupfer- oder Silberpol, das Kupfer- oder Silberende, und da man, wie vorhin erwähnt wurde (§ 235), durch Versuche gefunden hat, daß von zwei Metallen, die eine galvanische Kette bilden, das leichter oxydirbare positiv, das minder oxydirbare negativ elektrisirt wird, so nennt man auch das Zinkende den positiven, das Silber- oder Kupferende den negativen Pol der Säule. Jedes einzelne Plattenpaar aber wird ein Glied oder Element genannt. Werden die beiden Pole der Säule durch einen Leiter, etwa durch einen Draht, mit einander verbunden, so ist die Säule geschlossen oder wird entladen. Ein solcher Leitungsdraht, den man auch einen Poldraht nennt, wird durch Glasröhren gezogen, um ihn isolirt halten zu können, und durch ein Häkchen gesteckt, welches an den beiden Platten, die das Zink- und Kupferende bilden, angebracht ist, und dort hervorragt (Fig. 197). Aus je mehr Elementen eine Säule geschichtet ist, desto stärker muß natürlich auch die Wirkung seyn, die sich an ihren Polen zeigt; für zwei Elemente ist sie doppelt, für drei Elemente ist sie dreimal größer, und so wächst die Intensität der Säule und die polare Ladung im Verhältniß zu den Elementen fort. Im Ganzen ist aber beim Bau einer Säule mancherlei zu beobachten, was auf die Wirksamkeit derselben einen merklichen Einfluß hat. Nicht nur muß

Fig. 197




Digitized by Google

man sie so schnell wie möglich auszubauen suchen, man muß auch sorgfältig zu verhüten wissen, daß von der leitenden Feuchtigkeit nichts in ein einzelnes Element eindringe, also nichts zwischen die sich unmittelbar berührenden Plattenpaare. Dringt Feuchtigkeit zwischen die zu einem Gliede gehörigen Platten ein, dann entsteht eine Säule aus Zink, Feuchtigkeit, Kupfer; Feuchtigkeit, Zink, Feuchtigkeit, Kupfer u. s. w., wodurch die erste Grundlage des Galvanismus, die Berührung der Metalle, gestört wird. Sehr zweckmäßig ist es daher, die einzelnen Platten paarweiß, allemal eine Zink- und eine Kupferplatte, aneinander zu löthen. Indessen muß doch die Feuchtigkeit die ganze Oberfläche der Platte, auf welche sie zu liegen kommt, wohl bedecken, mit keiner Unreinigkeit behaftet, und die Platten selbst dürfen auch nicht im geringsten oxydirt seyn. Da reines Wasser nur ein schlechter Leiter ist, so bedient man sich Salzwasser oder auch Wasser mit Säuren vermischt, z. B. verdünnter Salpetersäure, zum feuchten Leiter. Ueberhaupt kommt bei der Wirksamkeit einer Säule, und für die Dauer dieser Wirksamkeit es sehr auf die Wahl der Feuchtigkeit an, deren man sich bedient. Für Wasser ist die Wirksamkeit am schwächsten, aber von längerer Dauer; verdünnte Schwefel- oder Salpetersäure gibt die größte Wirkung, aber nur von sehr kurzer Dauer. Eine bessere Feuchtigkeit liefert eine Lösung von einem Theil Kochsalz in acht Theilen gemeines Wasser, oder eine Lösung von Kochsalz in Essig, oder Wasser mit $^1/_{60}$ concentrirter Schwefelsäure und eben so vieler Salpetersäure. Eine Salmiakauflösung in Wasser gibt zwar auch wieder eine stärkere Wirkung, allein von geringerer Dauer, als das Kochsalz.

In der Regel baut man die Säule auf eine Unterlage von Glas, mithin so auf, daß sie isolirt ist, zuweilen aber auch so, daß einer ihrer Pole mit dem Erdboden in Verbindung kommt. Obgleich die Wirkungen einer Säule zunehmen, aus je mehr Plattenpaare die Säule besteht, so hat doch eine zu hohe Säule auch ihre Nachtheile. Wird nämlich die Pressung auf die untern Glieder zu stark, so wird nicht nur die Austrocknung der leitenden Feuchtigkeit, welche ein Element von dem andern trennt, befördert, und dadurch die Kraft der Säule zu schnell geschwächt, sondern es kann dann auch leicht Feuchtigkeit zwischen die Plattenpaare der einzelnen Elemente eindringen. Dieses zu vermeiden, baut man lieber zwei, drei oder mehrere Säulen einzeln in gleicher Ordnung auf, und verbindet ihre ungleichnamigen Pole mittelst guter Leiter, indem man, wenn z. B. eine Säule mit Kupfer anfängt, einen Draht von dem Kupferende der einen nach dem Zinkende der andern Säule führt. Da übrigens die lothrechte Stellung einer Säule keinen wesentlichen Einfluß auf deren Wirksamkeit hat, so kann man ihr auch eine, in neuerer Zeit beliebt gewordene, horizontale Lage geben.

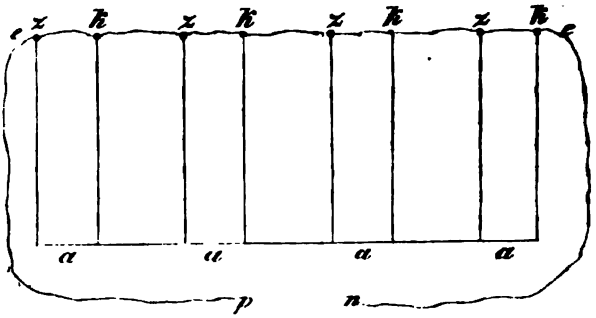
Wenn die Filzplatten nach und nach trocken werden, so kann die Säule nicht mehr wirken, und muß nun, für den weitern Gebrauch, erst wieder auseinander genommen und abermals aufgebaut werden, nachdem man vorher die einzelnen Platten, die, besonders die Zinkplatten, so leicht in der Feuchtigkeit oxydiren, gut gereinigt hat. Diese lästige Unbequemlichkeit veranlaßte die Erfindung anderer Apparate, bei welchen dergleichen Arbeiten vermieden werden können. Nach der Gestalt, die sie haben, werden sie Zellen-, Becher-, Trog-, Kasten- und Kapsel-Apparate genannt.

Ein Becherapparat hat etwa folgende Einrichtung: In den mit der



Digitized by Google

Fig. 198.




erforderlichen Feuchtigkeit gefüllten Bechern a (Fig. 198), die aber nicht von Metall sein dürfen, stehen die Platten so, daß in jedem Becher eine Zinkplatte z, und eine Kupferplatte k steht ohne sich zu berühren, dagegen ist die Zinkplatte des einen Bechers durch einen nicht sehr dünnen Kupferdraht allemal mit der Kupferplatte des nebenstehenden Bechers verbunden. An die vordere Zinkplatte und die hintere Kupferplatte sind die Poldrähte ep und en angebracht.

Dergleichen Apparate gibt es sehr große und von außerordentlicher Wirkung. Ein solcher großer Zellenapparat befindet sich zu London; er besteht aus 2000 Plattenpaaren, jede Platte zu 36 Quadratzoll. Auch die polytechnische Schule zu Paris besitzt einen solchen Apparat, den sie von dem ehemaligen Kaiser Napoleon zum Geschenk erhalten hat. Dieser Apparat besteht aus 600 viereckigen Plattenpaaren, jede über 120 Quadratzoll groß. Von länger dauernder Wirkung sind die *constanten Säulen* oder *Batterien*. Hierher gehört: die *Becquerel'sche* und *Daniell'sche constante Kette*; die *Grove'sche*; die *Bunsen'sche Zinkkohlenkette*, die von Allen die wohlfeilste ist. Die Einrichtung dieser Apparate lernt man am besten kennen, wenn man sie vor Augen hat.

§ 237. (Versuche mit der Säule.) So lange eine *Volta'sche* Säule noch nicht geschlossen ist, zeigt sich an ihren beiden Polen freie elektrische Spannung, welche aber nur mit dem Elektroskop, sowohl an dem positiven, als negativen Pol, erkennbar wird. Ist aber eine solche Säule geschlossen, wodurch sie entladen wird, so lassen sich damit eine Menge sehr merkwürdiger Versuche anstellen, und ganz eigenthümliche Wirkungen des Galvanismus wahrnehmen. Eine solche Säule stellt gleichsam eine elektrische Batterie von unermeßlicher Belegung dar, deren Ladung zwar schwach ist, und in welcher die Elektrizität nur eine geringe Spannung hat, die aber, so lange sie geschlossen und im gehörigen Zustand bleibt, sich mit jedem Augenblick entladet, aber auch stets wieder neu ladet. Im Allgemeinen kann man die Wirkungen einer solchen Säule eintheilen: in *chemische*, die von allen die wichtigsten sind; *mechanische*; *physiologische*, oder Wirkungen auf thierische Körper; *magnetische* (s. 15. Kapitel) und in *Entbindung von Licht und Wärme*. Einige auf diese Wirkungen sich beziehende Versuche sind folgende:

1) Sind die Pole der Säule durch Metalldrähte geschlossen, so empfindet man in den Händen eine anhaltende zitternde Erschütterung, den *galvanischen Schlag*, wenn man mit jeder Hand einen Poldraht

Digitized by Google

ergreift. Sind die Hände naß, besonders mit Salzwasser wohl befeuchtet, so ist die Erschütterung noch viel stärker, weil die trockne Haut, besonders bei kleinen Säulen, als Isolator wirkt. Noch stärker wird die Erschütterung, wenn man in jeder Hand eine feuchte Metallmasse, etwa einen silbernen Löffel, hält, und damit die Poldrähte berührt. Man kann auch diese Drähte in Gefäße mit Wasser leiten, und mit beiden Händen das Wasser berühren, wodurch ebenfalls eine Erschütterung entsteht. Auch kann man diese Erschütterung durch andere Theile des Körpers leiten, so wie durch eine Reihe mehrerer Menschen. Als eine besondere Vorrichtung für den galvanischen Schlag dient das Blitzrad von Neef. Vermittelst dieses Apparats kann der durch den Körper geleitete galvanische Strom einer Säule schnell unterbrochen und wieder angefacht werden, wodurch dessen Wirkung auf die Nerven sehr gesteigert wird.

2) Hält man den Verbindungsdraht des Zinkpols in einer Hand und berührt den Kupferpol mit der Zungenspitze, so empfindet man einen alkalisch brennenden, im umgekehrten Fall aber einen sauern Geschmack. Man empfindet sogar schon diesen oder jenen Geschmack, wenn man den einen Pol nur mit irgend einem Theile des Kopfes in Berührung bringt. Indessen ist die Wirkung einer Säule zur Erregung des Geschmacks etwas zu heftig. Die blitzähnliche Erscheinung vor den Augen bewirkt man, wenn man über und unter dem Auge eine Stelle befeuchtet, und sie mit den Poldrähten berührt. Der Blitz aber wird, da er nur ein Nervenreiz ist, nur von dem gesehen, der den Versuch anstellt.

3) Zwei isolirte Kork- oder Hollundermarkkügelchen, auch zwei sehr feine Metallstreifen, ziehen sich einander an, oder stoßen sich ab, je nachdem sie an beiden Poldrähten, oder nur an einem sich befinden.

4) Muskulöse thierische Theile, z. B. Froschschenkel, in den galvanischen Batteriekreis gebracht, gerathen in heftige Zuckungen. Eine frische Rindszunge, die an einen Tisch genagelt war, wurde in diesem Kreise mit solcher Gewalt zusammengezogen, daß der Nagel ausriß. Blutigel fahren heftig zurück, wenn sie ein Stück Kupfer berühren, das auf einer Zinkplatte liegt. Der Leichnam eines seit einer Stunde Gehängten wurde von Ure dahin gebracht, daß er in eine schauderhafte Thätigkeit gerieth, wobei sogar ein tiefes Athmen sich einstellte, nachdem ein empfindlicher Nerv (der Supraorbitalnerv) mit dem einen, die Ferse mit dem andern Pol der Säule in Verbindung war, und die Kette geschlossen wurde.

5) Wird an den einen Pol ein Eisendraht gehängt, und mit dessen anderm Ende der andere Pol berührt, so zeigt sich ein elektrischer Funke, der Knallluft zu entzünden vermag, aber nur eine kleine Schlagweite hat. Wird das eine Drahtende mit Goldschaum umwickelt, so ist die Erscheinung des Funkens um so gewisser, und an der Stelle, wo das Fünkchen den Goldschaum trifft, verzehrt es ihn auch. Mittelst dieser Fünkchen kann man dann leicht entzündliche Körper, z. B. Phosphor, feine Metallplättchen, Schwefel u. s. w., entflammen.

Wird der eine Poldraht in ein Gefäß mit Queckſilber gesteckt, und mit dem andern isolirt gehaltenen die Oberfläche des Queckſilbers berührt, so sieht man eine schöne Funkenentwicklung.

6) Wird die äußere Belegung einer Verstärkungsflasche, oder auch einer Batterie, mit dem einen Poldraht, und die innere Belegung derselben mit dem andern Poldraht in Verbindung gesetzt, so wird die Flasche oder Batterie augenblicklich geladen, allein die Ladung ist immer

Digitized by Google

nur schwach. Doch kann man mittelst eines Elektrometers wahrnehmen, daß die Belegung, welche mit dem Zinkpole verbunden ist, positive, die mit dem Kupferpole negative Elektrizität hat. Verbindet man den Draht des einen Pols leitend mit dem Erdboden, den des andern Pols mit einem Elektrometer, so gehen die elektroskopischen Körperchen ebenfalls auseinander. Sowohl hierdurch, als auch durch die Ladung kleiner Condensatoren (§ 232) und die Zeichnung Lichtenberg'scher Figuren (§ 231) hat man sich ebenfalls überzeugt, daß am Zinkpol positive, am Kupferpol negative Elektrizität ausströme. Die Versuche sind aber von eigner Schwierigkeit, und gelingen nicht Jedem, und nicht immer. Die Spannung der Elektrizität an den Polen ist überhaupt mit gewissen Veränderungen behaftet, was man das Wogen nennt. Nach Marianini ist diese Abnahme der Spannung bedeutend bei einer Säule, deren Poldraht geschlossen war, und wieder geöffnet wurde, das sie sich aber mit der Dauer ihrer Wirksamkeit allmählig wieder verliert.

7) Höchst merkwürdig ist der Versuch über die Zersetzung des Wassers. Um diesen Versuch anzustellen, füllt man eine Glasröhre mit reinem destillirten Wasser, und verschließt deren beide Enden mit Korkstöpseln. Wird nun durch jeden Stöpsel ein Platin- oder Golddraht in das Wasser geführt, so daß die beiden Drähte im Wasser ein wenig von einander entfernt bleiben, und dann das äußere Ende des einen Drahts an den Draht des Zinkpols, das äußere Ende des andern Drahts an den des Kupferpols gehängt; so entbindet sich aus beiden Gas. Dieses Gas läßt sich auffangen, wozu man mehrerlei Vorrichtungen hat. Man kann sich unter andern hierzu eines trichterförmigen Gefäßes G (Fig. 199) bedienen. Die untere Mündung des Gefäßes wird mit einem mit Siegellack überzogenen Korkstöpsel verschlossen, das Gefäß mit Wasser gefüllt, und durch den Stöpsel zwei Platin- oder Golddrähte, a und b, die einige Linien weit von einander abstehen, hineingeführt. Ueber jeden Draht wird dann eine kleine mit Wasser gefüllte Glasröhre gestürzt, und dann das eine Drahtende a an den Zinkpoldraht, das andere b an den Kupferpoldraht gehängt. Die Gasbläschen jedes Drahts steigen dann in die darüber gestürzte Röhre hinauf. Deren Untersuchung hat gezeigt, daß vom Zinkpole Sauerstoffgas, vom Kupferpole Wasserstoffgas aufsteigt. Sind aber beide Drähte aus einem Metall, welches leicht oxydirt, oder auch aus Silber, so steigt aus dem Draht, welcher mit dem Zinkpole in Verbindung ist, kein Sauerstoffgas auf, sondern der Draht wird oxydirt. Aus dem Draht, welcher mit dem Kupferpole verbunden ist, entbindet sich aber Wasserstoffgas. Das Wasser ist demnach hier, wie bei dem Lavoisier'schen Versuche, in seine beiden Bestandtheile, d. i. in ein Volumen Sauerstoffgas und zwei Volumen Wasserstoffgas, zerlegt worden (§ 133. III). Der eigenthümliche Geruch, den der Sauerstoff bei dieser Zerlegung hat, führte Schönbein auf die Entdeckung des Ozon. (§ 133. II. Anm.) Dieser Erscheinungen wegen pflegt man auch den Zinkpol den Oxygenpol, den Kupferpol den Hydrogenpol zu nennen.

Fig. 199.

Ritter leitete aus diesem merkwürdigen Versuch einen Einwurf gegen die Zerlegung des Wassers ab. Er hielt das Wasser für unzerleg-

Digitized by Google

bar, und war der Meinung, daß es bloß durch die Verbindung mit positiver Elektrizität Sauerstoffgas, mit negativer aber Wasserstoffgas bilde.

8) Die Wärmeentbindung durch den galvanischen Strom kann man schon mit der Fingerhutkette von Wollaston wahrnehmen. Diese kleine geschlossene Kette besteht aus einem zusammengedrückten silbernen Fingerhut, in welchem ein Zinkplättchen mit Siegellack befestigt ist, wo dann beide Metalle durch ein sehr feines Platindrähtchen mit einander verbunden sind. So wie man diese Kette bis etwas über ihre Mitte in eine verdünnte Säure eintaucht, fängt das Drähtchen zu glühen an. Die Apparate zur Wärmeerregung durch den galvanischen Strom werden insbesondere auch Calorimotoren oder Deflagratoren genannt.

9) Werden die Poldrähte einer Säule in die Flamme einer Lampe, oder noch besser in die des Kampfers gehalten, der positive Pol nahe an den Docht, der negative ein wenig darüber, so bedeckt sich jener allmählig mit Rußdendriten, ähnlich den chemischen Bäumen (§ 23).

10) Durch einen Tropfen essigsaures Kupfer- oder Bleioxyd auf einem Silberplättchen kann man schöne farbige Ringe erzeugen, wenn man die Mitte des Tropfens mit einem gespitzten Zinkstückchen berührt. Man nennt diese Ringe die Nobili'schen Farbenringe.

11) Faraday fand auch, daß in einem in sich geschlossenen Leiter, der dem Schließungsdraht einer Volta'schen Säule nahe steht, während der Entladung derselben, ebenfalls Elektrizität erregt wird. Der dabei stattfindende elektrische Strom, den man den Nebenstrom oder Inductionsstrom nennt, ist zwar in seinen Wirkungen dem Hauptstrom gleich, hat aber mit diesem eine entgegengesetzte Richtung, solange die Kette geschlossen ist, und eine gleiche Richtung, wenn sie geöffnet wird.

Die chemische Wirkung der Volta'schen Säule ist aber nicht bloß auf die Zerlegung des Wassers beschränkt, man hat vielmehr in neuerer Zeit Mittel gefunden, eine Menge anderer Zersetzungen durch sie zu bewirken. Dahin gehört, außer den Zersetzungen der Salze und der Säuren, auch die Zersetzung der Alkalien und Erden, die man sonst für einfache Stoffe gehalten hat, und überhaupt hat man die zersetzende Kraft einer solchen Säule so stark gefunden, daß man im Stande war, sogar aus dem Glase das Kali damit zu entbinden. Manche Naturforscher sind daher der Meinung, daß die chemische Verwandtschaft der Stoffe eigentlich nichts Anders sey, als eine elektrische Anziehung, und schon Ritter behauptete, daß Chemismus und Galvanismus einerlei sey; Davy und Berzelius haben aber durch sehr viele merkwürdige Versuche dieser sogenannten Elektrochemie ganz besondern Eingang verschafft. Sogar in der Säule selbst erfolgt in den feuchten Tuchscheiben nicht nur eine Zersetzung des Wassers, sondern auch, wenn diese Scheiben mit Salzwasser getränkt sind, eine Zersetzung der Salze, wodurch auch die Metallplatten, zwischen welchen diese Scheiben liegen, oxydirt, und daher öfters gereinigt werden müssen.

Die Versuche gelingen am besten, und die Wirksamkeit einer Volta'schen Säule wird überhaupt befördert, wenn bei'm Gebrauch der Säule die Temperatur der Luft weder eine sehr hohe, noch sehr niedrige ist; eine Temperatur von etwa 15 — 18 Grad R., bei trockner Witterung, ist die tauglichste bei der Behandlung der Säule.

Außerdem haben aber auch theils die Größe, theils die Menge der Plattenpaare entschiedenen Einfluß auf die Wirksamkeit einer Säule. Jene

Digitized by Google

scheint mehr auf die Quantität, diese mehr auf die Intensität der entwickelten Elektrizität zu wirken. So hat man unter andern durch Versuche gefunden, daß die Wirkungen des Galvanismus auf den thierischen Körper weit weniger von der Breite der Platten, als von deren Menge abhängt, daß hingegen die chemische Wirksamkeit einer Säule, so wie die Stärke ihrer Funken, weit mehr nach der Breite als nach der Menge der Platten sich richte. Mit Platten von einem Durchmesser, wie der Londoner und Pariser Apparat sie hat (§ 236), lassen sich die erstaunungswürdigsten chemischen Versuche ausführen, und alle Metalle, die edlen nicht ausgenommen, die man in dünnen Plättchen mit den Polen einer solchen Säule in gehörige Verbindung bringt, werden oxydirt und brennen mit schönen Lichterscheinungen. Vorzüglich schön sind aber diese Lichterscheinungen bei der Entzündung spitziger Kohlen, die man an die Poldrähte anbringt, und einander nähert.

Auch mehrere im gemeinen Leben vorkommende Erscheinungen hängen mit galvanischen Wirkungen zusammen. Dächer mit Zink gedeckt dauern nicht sehr lange, wenn sie mit eisernen oder kupfernen Nägeln beschlagen sind. Man muß hierzu Nägel aus Zink, oder, der größern Haltbarkeit wegen, aus einer Composition von Zink, Blei und Antimon gebrauchen. Um den Kupferbeschlag der Seeschiffe gegen den zerstörenden Einfluß des salzigen Seewassers zu schützen, belegt man ihn mit Zink oder Zinnblech, die als die positiv elektrischen Metalle von der Oxydation verzehrt werden, und sich dann leicht wieder ersetzen lassen, während das Kupfer geschont bleibt. So werden auch Eisen- und Stahlwaaren vor dem Rosten geschützt, wenn etwas Zink dabei liegt (§ 133. IV) und zarte Schneidwerkzeuge bleiben scharf, wenn sie in einem Besteck liegen, das mit Zink ausgefüttert ist.

Nach Faraday, der durch seine vielen Versuche über die chemische Wirkung der Säule wichtige neue elektro-chemische Gesetze entdeckt hat, nennt man jetzt den positiven Pol die positive Elektrode oder die Anode, den negativen Pol die negative Elektrode oder die Kathode. Die Körper, welche durch die Intensität der Volta'schen Säule wirklich zersetzt werden können, heißen Elektrolyten, und die Produkte der Zersetzung werden Jonen genannt, und zwar Anione der Bestandtheil, der nach dem positiven Pol, nach der Anode, geht, und Kationе der Bestandtheil, der nach dem negativen Pol, nach der Kathode, geht. So ist z. B. geschmolzenes Chlorsilber ein Elektrolyt, und wird es elektrolysirt, so entwickelt es zwei Jonen, das eine, Chlor, als Anion, das zweite, Blei, als Kation.

§ 238. (Trockne Säule.) Bei allen Arten nasser Säulen findet mehr oder weniger der unangenehme Umstand statt, daß durch den feuchten Leiter die Metallplatten bald oxydiren, was die Wirksamkeit der Säule aufhebt. Man ist dann genöthigt, die Säule auseinander zu nehmen, und die Platten, ehe man sie wieder gebrauchen kann, erst mühsam zu reinigen. Viele Physiker haben daher sich bemüht, Säulen ohne feuchte Leiter zu construiren. Eine solche Säule, welche eine trockne oder elektrische Säule genannt wird, besteht aus zwei verschiedenartigen metallischen Erregern, die, wie bei der Volta'schen Säule, paarweis übereinander geschichtet werden, und aus einem trocknen Halbleiter oder auch wohl Nichtleiter, welcher zwischen die einzelnen Paare angebracht wird. Obgleich nun eine solche trockne Säule nur geringe chemische

Digitized by Google

Wirkungen äußert, so lassen sich manche mechanische Wirkungen der Elektrizität, z. B. die elektrische Anziehung und Abstoßung, in bedeutender Stärke daran wahrnehmen, und zu allerlei Zwecken benutzen. Eine höchst einfache trockne Säule kann man schon aus übereinander geschichteten Scheiben von unächtem Gold- und Silberpapier erhalten. Die Scheiben werden dann paarweis zusammengeleimt, das Goldpapier vertritt die Stelle des Kupfers, das Silberpapier jene des Zinks, und das Papier selbst die des Leiters, zu dessen Behuf die Rückseite des Papiers noch mit einer schicklichen Substanz eingerieben wird. Dergleichen Säulen hat Zamboni construirt. De Luc baute Säulen aus Goldpapier und verzinntem Eisendraht, Jäger, Bohnenberger, Behrens, Biot haben sie wieder auf andere Art zusammengesetzt, und allerlei Versuche damit angestellt. Zamboni hat die elektrische Anziehung und Abstoßung seiner trocknen Säule zu einer Art Perpetuum mobile benutzt. Bohnenberger benutzte die trockne Säule zu einem sehr brauchbaren Elektroskop.

§ 239. (Galvanoplastik.) Die chemische Wirkung galvanischer Ketten fand aber eine ihrer schönsten Anwendungen durch die Erfindung der Galvanoplastik, d. h. durch galvanische Elektrizität allerlei Gegenstände, z. B. gravirte Kupferplatten, Münzen, Gypsabdrücke, Holzschnitte u. s. w., in Kupfer abzudrücken, Metalle mit Gold, Silber, Platin, Kupfer, Blei, Zinn, Zink zu überziehen, auf Metallplatten zu ätzen (Galvanokaustik), Zeichnungen galvanoplastisch zu copiren (Galvanographie). Das Wesen dieser Erfindungen beruhet auf den von Faraday aufgefundenen elektro-chemischen Gesetzen, und zunächst darauf, daß ein elektrischer Strom, der in eine gesättigte Auflösung von Kupfervitriol geleitet wird, sowohl das Wasser, als auch das schwefelsaure Kupferoxyd zersetzt. Die Zersetzung des Oxyds erfolgt aber so, daß die Schwefelsäure nach dem positiven Pol, das Kupferoxyd nach dem negativen Pol geht. Von dem zersetzten Wasser wird der Sauerstoff an dem positiven Pol frei, dessen Wasserstoff verbindet sich dagegen gleich im Entstehen mit dem Sauerstoff des Kupferoxyds an dem negativen Pol, und verwandelt dieses in metallisches gepulvertes, bei hinlänglicher Intensität des elektrischen Stromes, in fest zusammenhängendes Kupfer.

Wach war der erste, der (1830) davon eine praktische Anwendung machte, und de la Rive stellte im Jahre 1837 Ablagerungen von Kupfer auf Kupfer mit Nachbildungen von feinen Figuren dar. Der eigentliche Erfinder der Galvanoplastik ist aber Jacobi, und etwas später Spencer. Jener stellte zuerst im Jahre 1839 die schönsten und treusten Abdrücke von Medaillen her, und der Kaiser von Rußland ertheilte ihm dafür eine Belohnung von 25000 Silberrubel. Seitdem ist nun diese neue Erfindung von Böttger, Kobell, de la Rive, Ruolz, überhaupt von vielen Physikern, Chemikern und Technikern, behandelt und vervollkommnet worden, und die Apparate dazu haben sich so ungemein vervielfältiget, daß deren Beschreibung und Anwendung eigne Werke erfordern.

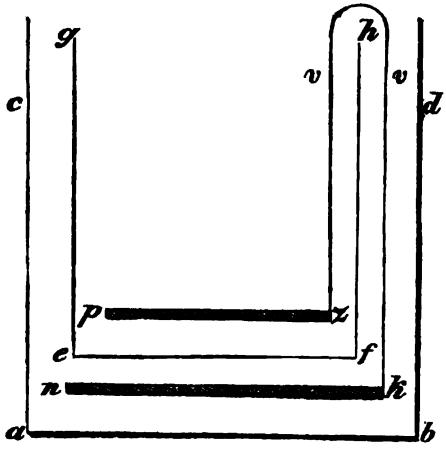
Um einen genauen Abdruck von einer gravirten Kupferplatte darzustellen, braucht man diese nur in eine gesättigte Auflösung von Kupfervitriol, und darüber in einer kleinen Entfernung eine zweite Kupferplatte in paralleler Lage zu legen. Beide Platten verbindet man mit einer galvanischen Kette von mäßigem Strom, so daß die gravirte Platte den negativen Pol, die andere den positiven Pol der Kette bildet. Nach und

Digitized by Google

nach werden dann alle Vertiefungen der gravirten negativen Platte mit metallischem Kupfer, das aus dem freigewordenen Wasserstoff mit dem Kupferoxyd sich gebildet hat, genau ausgefüllt, während der Sauerstoff an der positiven Platte neues in der Schwefelsäure aufgelöst'tes Kupferoxyd erzeugt, und so das Kupfervitriol wieder ersetzt, welches durch den Niederschlag des Kupfers auf der gravirten Platte verbraucht worden ist. Wird nun nach einem oder mehreren Tagen die gravirte Platte vorsichtig aus der Flüssigkeit herausgehoben und abgespült, so stellt der Niederschlag, der sich darauf gebildet hat, einen genauen Abdruck des Originals dar, von dem er dann leicht abgetrennt werden kann. Da aber die Copie von dem Original darin abweicht, daß in ihr alle Vertiefungen des Originals Erhöhungen bilden, und umgekehrt, so muß man, um einen Abdruck zu erhalten, der dem Original vollkommen entsprechend seyn soll, dieselbe Operation nunmehr mit der Copie wiederholen, und man erhält dann eine zweite, dem Original völlig gleiche Platte.

Auch ohne besondere galvanische Kette kann man, wenn man die gravirte Platte selbst als Erreger benutzt, den Niederschlag des Kupfers bewirken, und sich hierzu etwa des folgenden Apparats bedienen. Auf den Boden eines gläsernen Behälters abcd (Fig. 200), welches bis an cd mit einer gesättigten Kupfervitriolauflösung gefüllt ist, lege man die gravirte Kupferplatte nk, und darüber einen unten mit einer Blase verschlossenen Rahmen efgh, in welchem sich Wasser mit etwas Schwefelsäure befindet, darin ein Stück Zink pz auf einigen Glasstücken auf der Blase liegt. Wird nun der Draht kv der negativen Kupferplatte mit dem Draht zv der positiven Zinkplatte verbunden, so ist die Kette geschlossen, und der metallische Niederschlag des Kupfers fängt sich zu erzeugen, und anhaltend zu entwickeln an, wodurch dann ebenfalls die gravirte Platte ausgefüllt wird, wenn man dafür sorgt, daß immer eine hinlängliche Menge gesättigte Kupfervitriolauflösung in dem gläsernen Behälter vorhanden ist.

Fig. 200.




Für andere oben genannte Anwendungen der Galvanoplastik, wozu auch die Darstellung von Daguerrebildern gehört, sind die Apparate, wie leicht zu erachten, wieder von anderer Einrichtung.

§ 240. (Ursache der galvanischen Elektrizität.) So zahlreich übrigens auch die Thatsachen sind, die man bis jetzt von dem Galvanismus kennen gelernt hat, so ist doch die Theorie über dessen Erregung keineswegs so weit gediehen, daß man den Zusammenhang der Thatsachen, ihrem Wesen nach, genau nachzuweisen im Stande wäre. Thatsache ist, daß zwei verschiedene Metalle, die sich berühren, besonders Kupfer und Zink, elektrisirt werden, und daß in jenem die negative, in diesem die positive Elektrizität

Digitized by Google

frei werde. Durch den feuchten Leiter entstehen dann wahrscheinlich elektrische Strömungen, so, daß die positive Elektrizität am Zink-, die negative am Kupferpol sich anhäufe. Allein die Ursachen dieser Erregung und Strömung sind uns völlig unbekannt, wie dieses im Grunde auch bei der Reibungselektrizität der Fall ist. Hauptsächlich sind für die galvanische Elektrizität zwei Hypothesen im Streite. Die eine nimmt an, daß die Ursache der Erregung in der Berührung selbst zu suchen sey, und verbindet wohl auch mit dieser Annahme die der Polarkräfte (§ 222), indem die Elektromotoren schon von Natur aus mit Polarität begabt seyen; bei der andern wird erst durch einen chemischen Prozeß die Erregung bewirkt. Nach der Hypothese der Unitarier (§ 227) ist der galvanische Strom ein fortwährender Austausch von Ueberschuß an dem positiven mit dem Mangel an dem negativen Pol, und nach der der Dualisten sind es wirklich zwei Ströme, die sich hin und wieder von einem Pol zum andern bewegen.

§ 241. (Einige anderweitige elektrische Zustände.) Daß die Elektrizität, welche theils durch Reibung, theils durch Berührung verschiedenartiger Stoffe erregt wird, noch ganz andere Verrichtungen in der Natur hat, als bloß solche, welche menschlicher Scharfsinn ihr anweisen konnte, kann zwar nicht bezweifelt werden, worin aber diese Wirkungen bestehen, welche Rolle sie besonders im Innern der Erde, wo so viele verschiedenartige Materien übereinander lagern, zu spielen bestimmt ist, welchen Antheil sie an vulkanischen Ausbrüchen, Erdbeben und dergleichen Erscheinungen haben mag, und von welchem Einfluß sie auf das organische Leben der Körper sey, dieß Alles gehört in das weite und dunkle Reich der Vermuthung, läßt sich aber mit Bestimmtheit nicht nachweisen. Ausgemacht ist es wohl, daß Galvanismus mit im Spiele ist, wenn Bier, Wein und andere Flüssigkeiten in metallnen Gefäßen oft ganz anders schmecken, als aus gläsernen und irdnen; wenn Metalle, welche feucht werden, leichter oxydiren, als im trocknen Zustande, und bei so manchen andern im gemeinen Leben vorkommende Erscheinungen. Der Balg mancher Thiere, z. B. der Katzen, wird leicht durch Reiben elektrisirt; bei andern, z. B. den elektrischen Fischen, scheint Galvanismus vorzuherrschen. Viele chemische Wirkungen sind ebenfalls stets mit elektrischen verbunden, wie z. B. bei der Verwandlung eines flüssigen Körpers in Dampf, so wie bei der Verdichtung der Dämpfe (§ 233. 10). Daß schon hierdurch die Atmosphäre, in welcher dergleichen Processe unaufhörlich vorgehen, ein Schauplatz großer elektrischer Begebenheiten seyn muß, läßt sich nicht verkennen.

Außer Reibung und Berührung gibt es aber auch Körper, die durch Druck, und wieder andere, vielleicht alle ohne Ausnahme, die durch Veränderung ihrer Temperatur elektrisirt werden, was man Thermoelektrizität nennt. So fand der berühmte Mineralog Hauy den Doppelspath elektrisirt, wenn er etwas zwischen den Fingern gedrückt wurde. Ein zum Geschlecht der Schörle gehöriges Mineral, Turmalin genannt, wird, so wie noch viele andere, bei einem gewissen Wärmegrad, welcher bei dem Turmalin wenigstens 34 Grad R. beträgt, so elektrisirt, daß er kleine Körperchen anzieht, unter andern auch Asche, woher er den Namen Aschenzieher führt. Merkwürdig ist dabei, daß der Turmalin, wenn er durch Erwärmung elektrisirt worden ist, gleichwie eine Volta'sche Säule, einen positiven und einen negativen Pol erhält. Setzt man einen

Digitized by Google

Turmalin einer starken Kälte aus, so wird er ebenfalls elektrisirt, wobei aber seine Pole sich umkehren, so, daß derjenige Pol, welcher durch Erwärmung der positive war, in der Kälte der negative, der negative aber zum positiven wird. Die Elektrizitätserregung durch Druck wurde zuerst durch Aepinus wahrgenommen, bei zwei Glasplatten, die er zusammen drückte und die entgegengesetzte Elektrizität zeigten, nachdem sie wieder von einander getrennt wurden. Späterhin bestätigten Andere diese Erregung durch Versuche auch mit andern Nichtleitern. Eine Korkscheibe, die man gegen eine Orange drückt, wird positiv elektrisch, nur muß sie schnell wieder zurückgezogen werden. Ein trockner Korkpropfen, den man in der Mitte durchschneidet, und dann wieder zusammendrückt, wird elektrisch, die eine Hälfte positiv, die andere negativ. Besser gelingt dieser Versuch, wenn man, vor dem Zusammendrücken, die eine Hälfte ziemlich erwärmt. Aus zwei starken Eisblöcken, die mit großer Gewalt an einander stoßen, und eben so wieder auseinander fahren, sprühen Funken, wie man solches in den Polarmeeren schon öfters beobachtet hat.

§ 242. (Luftelektrizität.) Die Lufterscheinungen, bei welchen die Elektrizität mit im Spiele ist, und die deßhalb Elektrometeore genannt werden, sind der Blitz, das Wetterleuchten, die Wetterlichter, der Hagel, die Wasser- und Landhosen, die Nord- und Südlichter, die Sternschnuppen.

Der Blitz, auf dessen kurze Erklärung hier, nebst einigen damit zunächst zusammenhängenden Erscheinungen, allein Rücksicht genommen werden soll, ist ein Feuerball zwischen zwei Wolken, oder einer Wolke und dem Erdboden, und im Großen das, was der elektrische Funke einer geladenen Batterie im Kleinen ist. Die durch den Blitz gewaltsam durchbrochene Luft strömt sogleich wieder mit großer Heftigkeit zusammen, wodurch der starke Schlag entsteht, den man Donner nennt, und dessen Getöse oder Rollen wahrscheinlich ein Echo ist, welches die Erde und die Wolken zurückwerfen. Die ganze Erscheinung wird ein Gewitter genannt, und ist gewöhnlich mit Sturm und Regen, oft auch mit Hagel verbunden.

Die Elektrizität der Luft ist durch allerlei Versuche außer Zweifel gesetzt, so wie es gewiß ist, daß bei einem Gewitter die Wolken elektrisirt sind, und daß sie mehrentheils eine positive Elektrizität haben. Wodurch aber Luft und Wolken elektrisirt werden, darüber gibt es verschiedene Meinungen, und ist mit völliger Gewißheit noch nicht ausgemittelt. Manche glauben, die Luft werde im trocknen Zustande dadurch elektrisirt, daß eine Luftmasse, die durch Erwärmung ausgedehnt worden sey, und nun in Bewegung geräth, an eine andere Luftmasse sich reibe, in welchem Zustande auch noch eine Vertheilung der Elektrizität von der Erde her mitwirke, und so die Elektrizität der Luft verstärke. Andere sehen mit vieler Wahrscheinlichkeit die Luftelektrizität als ein Werk der Verdunstung an, da man gefunden hat, daß bei Verdunstung des Wassers aus einem Gefäße dieses, so wie das nicht verdunstete Wasser negativ elektrisirt war, und daraus folgerte, daß die Dünste positiv elektrisirt seyn müßten (§ 233. 10).

So lange nun die Dünste unsichtbar in der Luft schweben, ist ihre Elektrizität gebunden; sie wird aber frei, wenn sich die Dünste verdichten, Nebel und Wolken bilden. Ist dabei die untere Luftregion trocken und kalt, so bildet sie einen Isolator, ist sie aber warm und feucht, so bildet

Digitized by Google

sie die Elektrizität, und diese ruft dann von den unter ihr liegenden Körpern durch Vertheilung auch die negative Elektrizität hervor, theils aus dem Erdboden, theils aus den sich darauf befindenden Gegenständen. Hat sich nun die elektrisirte Wolke der Erde hinlänglich genähert, so entladet sie sich, und erzeugt den Blitz. Eben so kann aber auch von einer elektrisirten Wolke zur andern eine Vertheilung der Elektrizität stattfinden, wodurch ebenfalls ein Blitz entsteht. Im Winter, wo die Luft kalt ist, sind daher die Gewitter seltner als im Sommer, aber wenn sie eintreten, auch viel heftiger, weil dann die kältere Luft einen größern Widerstand leistet.

Vor dem Einschlagen des Blitzes, den man, wenn er in einen Gegenstand fährt, ohne zu zünden, den kalten Schlag nennt, schützt man Gebäude durch Blitzableiter; diese sind so angelegt, daß von den höchsten Theilen eines Gebäudes eine Metallstange, von welcher eine Spitze in die Luft hineinragt, ohne Unterbrechung in den Erdboden oder in Wasser geleitet ist. Sich selbst vor dem Blitze, so viel als möglich, zu schützen, ist es gut, die Nähe guter Leiter der Elektrizität zu meiden, den Körper nicht zu erhitzen, was durch Angst eben so gut, als durch Laufen geschehen kann, und sich nicht an Orten aufzuhalten, die mit Rauch und Dünsten angefüllt sind, weil diese die Elektrizität ebenfalls leiten. Eben deßhalb ist es auch rathsam, in den Küchen bei einem schweren Gewitter kein Feuer zu unterhalten, und immer darauf zu sehen, daß die Schornsteine ordentlich geputzt sind. Im Freien muß man aber die Nähe aller Gegenstände, die höher sind, als man selbst ist, sorgfältig meiden, weil der Blitz immer gerne in die Körper fährt, die ihm am nächsten sind (§ 233), und unter den Bäumen am liebsten die Eichen hat. In einer baumlosen Gegend, wo man selbst als höchster Gegenstand sich betrachten kann, ist es am sichersten, sich auf die Erde zu legen.

Das Wetterleuchten ist entweder ein Gewitter in so hohen Regionen, daß man keinen Donner hören kann, oder es rührt von einem sehr entfernten Gewitter her, oder von Blitzen, die nur schwach sind.

Die Wetterlichter sind elektrische Flämmchen, die vor und während einem Gewitter zuweilen aus hohen spitzzulaufenden Gegenständen ausströmen, z. B. aus den Spitzen der Schiffsmasten, wo es bei den Seefahrern St. Elmsfeuer genannt wird.

Die Wasserhosen entstehen aus der Anziehung einer nieder gehenden Gewitterwolke auf das Wasser, namentlich auf das Meer, was dann auf dem Lande die Landhosen, Staub- und Sandwirbel erzeugt.

Digitized by Google

# Fünfzehntes Kapitel.

## Magnetismus.

Daß aber nichts im großen Ganzen, nennen wir es, wie wir wollen, Natur, Welt u. s. w. gesetzlos ist, bezeugt den höhern, göttlichen Ursprung desselben.

Moser.

§ 243. (Natürlicher Magnet.) Nicht weniger merkwürdig, als die Erscheinungen der Elektrizität, sind auch die des Magnetismus. Die vorzüglichsten derselben bestehen in einer anziehenden Kraft, welche man schon viele Jahrhunderte vor Christi Geburt an einem Eisenerze wahrnahm, das, der Sage nach, von der Stadt Magnesia, wo man es zuerst gefunden haben will, den Namen Magnet erhielt. Ein solcher Magnet, dessen Farbe aschgrau oder schwarz ist, und dergleichen man jetzt in vielen Bergwerken Europa's, Asien's und Amerika's gefunden hat, besitzt schon von Natur die wunderbare Eigenschaft, das Eisen in gewissen Entfernungen mit unsichtbarer Kraft anzuziehen, und wird daher ein natürlicher Magnet genannt. Späterhin machte man die Entdeckung, daß metallisches Eisen und Stahl nicht nur von dem Magnet angezogen werden, sondern auch selbst magnetisch werden können, in welchem Zustande sie demnach dieselbe anziehende Kraft, wie der Magnet, äußern. Dergleichen Magnete werden dann künstliche Magnete genannt. Außer dem Eisen kennt man aber jetzt auch noch einige andere Metalle, welche in reinem Zustand magnetische Eigenschaften besitzen, und in neuerer Zeit hat man sogar die Meinung geäußert, daß vielleicht alle feste Körper an dieser Eigenschaft Theil nehmen mögen, aber in so schwachem Grade, daß nur äußerst feine Versuche es zuweilen bemerklich machen können.

§ 244. (Magnetische Zustände.) Die wunderbare, mit dem Namen Magnetismus bezeichnete, Kraft äußert sich in gewissen eigenthümlichen Erscheinungen, aus welchen das Verhalten eines Magnets gegen andere unmagnetische Körper, besonders gegen unmagnetisches Eisen, so wie dessen Verhalten für sich allein und gegen andere Magnete erkannt werden kann. Den Inbegriff aller magnetischen Erscheinungen pflegt man ebenfalls Magnetismus zu nennen.

In Beziehung seines Verhaltens gegen metallisches, nicht magnetisches Eisen, so wie gegen alle eisenhaltige Körper, wird man gewahr, daß sie von dem Magnet, mit Ausnahme des Eisens, welches völlig verkalkt ist, angezogen werden, und mit beträchtlicher Kraft an ihm hängen bleiben. Je größer die Eisenmasse ist, die ein Magnet zu tragen vermag, desto größer ist auch seine Kraft, und es gibt Magnete, deren Kraft so groß ist, daß sie Eisenmassen, die vielmal mehr als der Magnet selbst wiegen, zu tragen vermögen. Die Größe dieser Kraft, welche nicht immer von der Größe des Magnets allein abhängt, ist auch bei einem und demselben Magnet nicht zu allen Zeiten gleich, und, was besonders merkwürdig ist, nicht durch die ganze Oberfläche des Magnets von gleicher Stärke. In der Regel gibt es bei den meisten Magneten zwei einander gegenüber liegende Stellen, wo sie ihre stärksten Anziehungskräfte haben, und diese

Digitized by Google

Stellen werden die Pole des Magnets genannt. Legt man einen Magnet in Eisenfeile, so zeigt sich, daß an diesen gegeneinander überliegenden Polen die stärksten Büschel sich anhängen, und daß kleine Stückchen Eisendraht, z. B. Nähnadeln, an diesen Stellen sich senkrecht emporrichten, während sie an andern Stellen der Oberfläche eine schiefe, gegen den andern Pol geneigte, Lage annehmen, und sich platt anlegen, wenn sie an Stellen hängen, die von beiden Polen gleich weit abstehen. Das Verhalten eines Magnets gegen unmagnetisches Eisen gibt sich aber nicht nur dann erst kund, wenn zwischen beiden eine Berührung stattfindet, sondern wirkt auch schon in einer gewissen Entfernung, nimmt jedoch, wie man leicht denken kann, mit der Zunahme der Entfernung immer mehr ab. In den Nähnadelfabriken bringt man Magnete an, um den Eisenstaub von dem Gesicht der Arbeiter abzuhalten. Versuche haben gezeigt, daß die Gestalt, Lage und Größe des Magnets, so wie des Eisens, auf die Ziehkraft mit einwirken, daß man jedoch im Allgemeinen die Abnahme der Ziehkraft nach dem Quadrat der Entfernung bestimmen könne. Wenn z. B. zwei Stücke Eisen, deren Gestalt, Lage und Größe einerlei ist, von demselben Magnet gezogen werden, so wird das eine Stück, wenn es noch einmal so weit vom Magnet entfernt ist, als das andere, viermal, in einer dreimaligen Entfernung neunmal weniger angezogen. Uebrigens wirkt die magnetische Kraft selbst durch Metall, Holz, Pappe, Glas und andere Körper hindurch. So werden z. B. Eisenfeile oder Nähnadeln, die auf einem zinnernen Teller, einem Brette, einer Glasplatte u. s. w. liegen, von einem darunter gehaltnen Magnet angezogen, und hin und her bewegt. Ein Stückchen Kork, in welches etwas Eisen gelegt worden ist, kann man in einem Gefäß mit Wasser in willkührlichen Richtungen schwimmen lassen, sobald man ihm einen Magnet da- oder dorthin entgegen hält. Dergleichen Schwimmversuche benutzt man auch, um schwache magnetische Anziehungen bemerkbar zu machen. Eine Menge magnetischer Spielereien haben ihren Grund in verborgenen Magneten, die durch andere Körper hindurch wirken. Durch Eisen hindurch wirkt aber ein Magnet nur dann auf andere eisenhaltige Körper, wenn das Eisen nicht quer oder mit seiner scharfen Kante, sondern der Länge nach an den Magnet gehalten wird.

Für sich allein verhält sich ein Magnet so, daß er in einer horizontalen Lage, in welcher er sich frei bewegen kann, sich auch von selbst mit einem seiner Pole nach Norden, mit dem andern nach Süden wendet. Jenen nennt man daher den Nordpol, diesen den Südpol des Magnets, und diese merkwürdige Eigenschaft im Allgemeinen wird die Polarität des Magnets genannt. Rost, Glühhitze, ein heftiger Fall, starke Schläge mit einem Steine, der elektrische Funke schwächen die magnetische Kraft eines Magnets (§ 233). Auch dadurch wird die Kraft eines Magnets geschwächt, wenn man seine Pole zwingt, lange Zeit hindurch ihre natürliche Lage nach Norden und Süden nicht annehmen zu können, so wie dadurch, wenn er lange ungebraucht liegt, und nichts zu tragen hat. Um die Kraft eines Magnets im Ziehen zu erhalten, sogar zu verstärken, muß man ihm stets so viel zu tragen geben, als er nur tragen kann. Auf der Eigenschaft der Polarität beruht auch ferner der Gebrauch der Magnetnadel. Diese besteht aus einem kleinen stählernen Magnet, der, auf einer feinen Spitze ruhend, sich in horizontaler Richtung frei bewegen kann. Diese Magnetnadel, welche die Alten nicht kannten, obgleich die anziehende Kraft des Magnets ihnen bekannt war, und von welcher

Digitized by Google

man auch mit Bestimmtheit die Zeit der Entdeckung nicht angeben kann, ist von allen Anwendungen, zu welchen der Magnetismus benutzt werden kann, die vorzüglichste. Noch unbekannt mit der Einrichtung der Magnetnadel, konnte kein Seefahrer sich in einen Ocean wagen, weil er keinen Führer hatte, aus dessen Angaben er abnehmen konnte, wohin er zu steuern habe, um das Ziel seiner Reise zu erreichen. Bei trübem Himmel, wenn er am Tage die Sonne und Nachts die Sterne nicht sehen konnte, durfte er vollends die Küste nicht aus dem Auge verlieren. Ohne Magnetnadel, an welcher man zu jeder Zeit die Weltgegenden erkennen kann, würde Amerika und Australien nie entdeckt, der Weg nach Ostindien nie gefunden, die Erde nie umsegelt worden seyn. Selbst bei Landreisen, namentlich in öden Gegenden, ist sie ein nützlicher Wegzeiger, so wie bei'm Bergbau, wo es darauf ankommt, sich unter der Erde zurecht finden zu können, sie ebenfalls, in so fern die Bergwerke kein Eisenerz enthalten, unentbehrlich ist. Gewöhnlich setzt man die Zeit, wo die Magnetnadel zuerst in Europa zur Schiffahrt auf dem mittelländischen Meere angewandt worden sey, in das dreizehnte Jahrhundert, und hält dafür, daß ein Neapolitaner, Namens Flavio Gioja, oder der Venetianer Marcus Polo sie entweder erfunden, oder doch zuerst Gebrauch davon gemacht habe.

Auch zwei Magnete ziehen sich an, und zwar noch stärker als Magnet und Eisen, allein hier tritt das merkwürdige Verhältniß ein, daß sie sich nur dann anziehen, wenn ihre entgegengesetzten Pole einander genähert werden. Werden aber die gleichnamigen Pole einander genähert, dem Nordpol der Nordpol, dem Südpol der Südpol, so stoßen sie sich einander ab, und fliehen einander. Bezeichnet man, wie dieses gewöhnlich geschieht, den Nordpol mit + M, den Südpol mit — M, so kann man dieses wichtige Naturgesetz auch so ausdrücken:

\+ M und + M; — M und — M stoßen sich ab.
\+ M und — M aber ziehen sich an.

Aus diesem Grunde nennt man die gleichnamigen Pole eines Magnets die feindlichen, die ungleichnamigen aber die freundschaftlichen Pole. Es gibt aber Magnete, die mehr als zwei Pole (Folgepunkte) haben, und die man anomalische oder zusammengesetzte Magnete nennt. Dergleichen Magnete sind ineinander verwachsene Magnete, bei welchen jedoch die aneinander liegenden Pole immer nur freundschaftliche sind.

§ 245. (Armirter und künstlicher Magnet.) Der Erfahrung gemäß wird ein jedes Stück Eisen, welches nahe bei einem starken Magnet liegt, und mehr noch, wenn es an einem Magnet hängt, selbst magnetisch, verliert aber diesen Zustand bald beinahe völlig wieder, so wie es von dem Magnet wieder entfernt wird. Man sieht hieraus, daß der magnetische Zustand des Eisens nicht durch Mittheilung entstanden seyn kann, weil er sonst mit der Entfernung des Eisens vom Magnet sich noch immer zeigen müßte, daß daher dieser Zustand bloß als Wirkung einer Vertheilung der magnetischen Kraft betrachtet werden muß. Bedient man sich aber zu diesem Versuche anstatt des weichen Eisens einer gehärteten Stahlstange, so bleibt in ihr der durch die Vertheilung hervorgerufene magnetische Zustand in einem größern Verhältniß zurück, als bei dem weichen Eisen. Die unbekannte Kraft, die dieses bewirkt, wird die Coercitivkraft genannt. Wie bei der Elektrisirung durch Verthei-

Digitized by Google

lung der Elektrizität (§ 229), wird auch hier der Raum, innerhalb welchem die Vertheilung der magnetischen Kraft stattfinden und wirksam sich zeigen kann, der magnetische Wirkungskreis, die magnetische Atmosphäre genannt. Bei dem Magnetisiren durch Vertheilung findet sich aber auch dasselbe Gesetz wieder, welches bei der Elektrisirung durch Vertheilung sich zeigt. So wie nämlich der Körper, in welchem die Elektrizitätsvertheilung vorgeht, an der Stelle, welche dem elektrisirten Körper am nächsten ist, entgegengesetzte Elektrizität erhält, so bekommt auch das Eisen an dem Ende, welches dem Magnet zugekehrt ist, einen Pol, der gegen den zunächst liegenden Pol des Magnets freundschaftlich wird, nämlich einen Nordpol, wenn der zunächst liegende Pol des Magnets der Südpol ist, und umgekehrt. In diesem Falle wird dann das andere Ende des Eisens oder Stahls mit jenem Pol gleichnamig.

Dieses Gesetz von der Vertheilung der magnetischen Kraft, aus welchem sich erklären läßt, wie die magnetische Anziehung durch andere Körper hindurch wirken kann, läßt sich dadurch sichtbar darstellen, daß man ein Stück Eisen oder Stahl, welches durch Vertheilung magnetisch geworden ist, gegen die Pole einer Magnetnadel hält, wo dann die freundschaftlichen und feindlichen Pole sogleich erkannt werden können. Zugleich beruht auch auf diesem Gesetz der Vertheilung die Wirkung eines armirten oder bewaffneten Magnets. Gewöhnlich wird diese Bewaffnung mit einem natürlichen Magnet vorgenommen, um dessen Ziehkraft zu verstärken. In diesem Falle werden die beiden Pole des natürlichen Magnets vollkommen geebnet, und jede geebnete Fläche mit einer dünnen Platte von weichem Eisen belegt, die unten einen starken Fuß hat. Dieses ist, was man die Armatur oder Bewaffnung nennt. Die eisernen Belegungen der magnetischen Pole, welche man auch die Panzer zu nennen pflegt, werden nun durch Vertheilung der magnetischen Kraft ebenfalls magnetisch, so daß die innere Fläche der Panzer Pole erhalten, welche mit dem Pol, an welchem sie anliegen, ungleichnamig sind, daher sie außerhalb dieselben Pole bekommen, die auch der Magnet an dieser Stelle hat. Der am Nordpol liegende Panzer ist also äußerlich ebenfalls ein Nordpol, der am Südpol liegende ein Südpol. Da nun die Vertheilung für ein jedes + M wieder ein — M hervorruft, und umgekehrt, so entsteht durch die Bewaffnung ein Wechselspiel zwischen + M und — M, so daß der freie Nord- und Südpol der Panzer, welche man auch die künstlichen Pole nennt, von weit größerer Stärke wird. Will man einen armirten Magnet zum Ziehen gebrauchen, so läßt man die beiden künstlichen Pole ein Stück weiches Eisen, welches man einen Anker nennt, anziehen, und hängt an den Anker, der deßhalb unten einen Haken hat, so viel Gewicht an, als der Magnet zu tragen vermag. Auf diese Weise pflegt man auch die Stärke eines Magnets zu schätzen. So vielmal nämlich das von ihm getragene Gewicht sein eignes Gewicht übersteigt, so viel beträgt seine Stärke. Die Erfahrung hat gezeigt, daß kleine Magnete in dieser Beziehung eine größere Wirksamkeit haben als größere, und daß, wie eben gezeigt worden ist, die Bewaffnung die Wirksamkeit sehr verstärkt. Newton hatte einen kleinen armirten Magnet, der nur drei Gran wog, und 700 Gran zu tragen vermochte. Größere Magnete tragen aber selten mehr als ihr zehnfaches Gewicht. Ein jeder Magnet trägt indessen immer mehr, wenn das angehängte Gewicht nur



Digitized by Google

aus Eisen, und nicht aus anderer Materie, z. B aus Messing, besteht, und hebt auch von einer eisernen Unterlage eine größere Last empor, als von einer Unterlage, die nicht von Eisen ist. Eben durch die Vertheilung läßt es sich auch erklären, warum die gleichnamigen Pole zweier Magnete, deren Stärke sehr ungleich ist, sich einander nicht abstoßen, sondern entweder gar nicht auf einander wirken, oder gar sich anziehen. Hier wird nämlich die Polarität des schwächern Magnets von dem viel stärkern entweder ganz vernichtet, oder seine Pole werden umgekehrt.

Man kann aber auch Eisen und Stahl, die Coercitivkraft besitzen und die noch nicht magnetisch sind, bleibend magnetisch machen, wenn man sie mit einem Magnet bestreicht. Es ist üblich geworden, diese magnetische Uebertragung die Mittheilung des Magnetismus zu nennen. Da aber der dazu angewandte Magnet von seiner Kraft nicht das Mindeste verliert, so scheint bei dieser Manipulation auch nichts Anders, als nur allein eine Vertheilung des Magnetismus Statt zu finden.

Für das Bestreichen gibt es mehrere Methoden, namentlich die des einfachen und die des Doppelstrichs, und diese werden gewöhnlich mit einem armirten Magnet ausgeführt Bei'm einfachen Strich setzt man den Nordpol des Magnets in die Mitte des eisernen oder stählernen Stabes, am besten unter einem Winkel von 10 bis 12 Grad, auf, drückt ihn ein wenig an, und streicht damit bis an das Ende des Stabes hin, und noch ein wenig weiter hinaus. Hier wird der Magnet vom Stabe abgehoben, entfernt vom Stabe in einem Bogen zurückgebracht, dann wird er abermals, wie vorhin, aufgesetzt, und das Streichen auf diese Weise wenigstens zehn, sogar fünfzig und mehrmal wiederholt. Das bestrichene Ende des Stabes wird dadurch zum Südpol. Das andere Ende, welches nicht bestrichen worden ist, zeigt sich zwar schon von selbst als Nordpol wirkend, allein um auch diesem Pol die gehörige Stärke zu geben, wird auch nach diesem Ende hingestrichen, dabei ganz so, wie vorhin, verfahren, mit dem Unterschied, daß man jetzt den Südpol des Magnets aufsetzt, und eben so viele Striche macht, wie mit dem Nordpol gemacht worden sind. Uebrigens darf man bei'm einfachen Strich nie rückwärts streichen, weil ein rückwärts geführter Strich die mitgetheilte magnetische Kraft wieder aufhebt. Bei'm Doppelstriche setzt man den hufeisenförmigen Magnet, dessen man sich bei diesem Striche bedienen muß, mit seinen beiden Polen in die Mitte des magnetisirenden Stabes auf, und streicht, ohne die Lage der Pole zu verändern, mehrmals von einem Ende zum andern hin und her, bis man zuletzt den Magnet wieder da abhebt, wo er aufgesetzt worden ist. Das Ende des Stabes, gegen welches bei'm Bestreichen der Nordpol des Magnets gerichtet war, wird zum Südpole, und umgekehrt. Eisen- und Stahlstäbe, welche durch ein solches Bestreichen magnetisch geworden sind, werden künstliche Magnete genannt. In ihren Wirkungen sind die künstlichen Magnete völlig den natürlichen gleich, und können auch selbst wieder zur Verfertigung neuer künstlicher Magnete benutzt werden. Der Mittheilung, noch mehr aber der Vertheilung der magnetischen Kraft ist es auch zuzuschreiben, daß an den Polen eines Magnets, welche in Eisenfeile getaucht werden, ganze Büschel derselben hängen bleiben, indem jedes Spähnchen sogleich selbst wieder magnetisch wird, und nun auch seinerseits wieder anziehend wirkt. Eben so kann man auch mit einer Nähnadel, die an einem

Digitized by Google

Magnet hängt, eine andere anziehen, mit dieser eine dritte und so eine ganze Reihe. Werden mehrere Stäbe erst einzeln magnetisirt, und abermals, nachdem sie gehörig verbunden worden sind, so erhält man ein magnetisches Magazin oder eine magnetische Batterie. Ein Engländer, Knight, hat auf diese mühsame Weise ein magnetisches Magazin zu Stande gebracht, welches aus 480 Stahlstäben, jeder von $1^1/_2$ Fuß Länge, bestand, und 10 Centner wog. Mit diesem Magazin konnte er augenblicklich jeden Stahl magnetisiren, und die Pole der stärksten Magnete umkehren.

Auch durch gewisse Erschütterungen, durch Stoßen, Schlagen, Reiben, wird Eisen öfters magnetisch, ohne mit einem Magnet in Verbindung gekommen zu seyn. Dieses ist u. a. der Fall bei vielgebrauchten Bohrern, Sägen, Feilen, Zangen u. s. w.

Eben so können Eisenstäbe schon durch eine bestimmte Lage zu künstlichen Magneten werden, besonders wenn diese Lage mit der einer Magnetnadel parallel ist. Auf diese Weise werden die senkrechten eisernen Stangen in den Kreuzen der Kirchthürme, eiserne Stäbe in Gittern u. s. w. oft magnetisch. Eine Stange aus weichem Eisen, die man senkrecht oder in der Richtung der Magnetnadel einige Mal auf- und niederstößt, oder mit einem Stück Holz schlägt, nimmt Magnetismus an, wobei, in der nördlichen Halbkugel der Erde, ihr unteres Ende zum Nordpol, ihr oberes zum Südpol wird, in der südlichen Halbkugel sind die Pole umgekehrt vorhanden. Kehrt man eine solche magnetisch gewordene Stange um, so werden auch die Pole augenblicklich verändert, der vorige Nordpol wird jetzt der Südpol, der Südpol zum Nordpol.

§ 246. (Thermo- und Rotations-Magnetismus.) Ungleiche Erwärmung erregt im Eisen, so wie überhaupt in den Metallen, ebenfalls Magnetismus, was man Thermomagnetismus nennt. Löthet man z. B. einen Ring oder irgend ein Vieleck aus Wismuth und Kupfer, oder Wismuth und Spießglanz zusammen, und wird einer der Verbindungspunkte erwärmt, so wird eine, innerhalb dieser Composition frei schwebende Magnetnadel aus ihrer Lage abgelenkt, zum Zeichen, daß die zusammengelötheten Metalle durch die ungleiche Erwärmung magnetisch geworden sind. Schon durch die Erwärmung mit den Fingern zeigt sich eine geringe Ablenkung, die aber natürlich viel größer wird, wenn die Erwärmung durch eine Spirituslampe Statt hat.

Noch größer wird die Ablenkung der Nadel, wenn einer der Verbindungspunkte erwärmt, und ein anderer zugleich erkältet wird. Besteht der Ring oder das Vieleck aus mehreren Paaren solcher Metalle, so nimmt ebenfalls die Ablenkung der Nadel zu, wenn man bei der Erwärmung der zusammengelötheten Stellen immer eine überspringt, und eine Seite des Vielecks mit der Nadel parallel gestellt worden ist.

Auch durch die Einwirkung des Sonnenlichts können Stahlnadeln magnetisch werden, namentlich im Farbenbilde, in den violetten, blauen und grünen Strahlen, was man insbesondere Photomagnetismus nennt.

Wird eine frei hängende Magnetnadel in Schwingungen versetzt, so nehmen die Schwingungen augenblicklich ab, so wie sie über eine darunter liegende, ruhende Kupferplatte weggehen. Diese merkwürdige Erscheinung heißt der Rotationsmagnetismus. Rotirt die Kupferplatte, so fängt eine darüber angebrachte ruhende Magnetnadel ebenfalls zu rotiren



Digitized by Google

an, selbst wenn eine Glastafel sie von der Kupferplatte scheidet, und ein rotirender Hufeisenmagnet bringt eben so eine Kupferplatte, die frei über ihm hängt, in Rotation. Faraday fand, daß in der Richtung der rotirenden Platte elektrische Ströme entstehen. Derselbe fand auch eine Einwirkung des Magnetismus auf das Licht. Wenn man nämlich eine Röhre, die mit einer beliebigen Flüssigkeit gefüllt ist oder ein Stück Glas vor die Pole eines Magneten bringt, so entsteht in dieser Flüssigkeit, wenn sie in den Polarisationsapparat kommt (§ 215) eine Drehung rechtsum, wenn der Lichtstrahl vom Südpol zum Nordpol des Magneten geht, im umgekehrten Fall erfolgt die Drehung linksum. Faraday hat auch noch gezeigt, daß es viele Körper gibt, die von dem Magnet abgestoßen werden, z. B. Gold, Zinn, Queckſilber, Weingeist, Wasser u. a. Dergleichen Körper nennt er diamagnetische Körper.

§ 247. (Magnetnadel.) Die Magnetnadel, welche für die Schiffahrt und den Bergbau unter dem Namen eines Compasses, mit einer dazu gehörigen Windrose, und für die Meßkunst unter dem Namen einer Boussole ein so höchst wichtiges Werkzeug ist (§ 244), würde von noch viel bequemerm und zuverlässigerm Gebrauch seyn, wenn ihre Pole vollkommen genau nach Norden und Süden gerichtet wären. Dieses ist aber nur an sehr wenigen Orten der Erde der Fall, während sie fast an allen andern, theils nach Westen, theils nach Osten hin, mit der wahren Nordlinie des Orts (dem astronomischen Meridian) irgend einen Winkel bildet. Dieser Winkel, den man die Abweichung oder die Declination nennt, würde zwar, wenn er für jeden Ort stets unverändert bliebe, mithin ein- für allemal beobachtet und zuverlässig bestimmt werden könnte, von keinem Einfluß auf den Gebrauch der Nadel seyn, allein gerade der Umstand, daß die Abweichung nicht nur an verschiedenen Orten der Erde an und für sich verschieden ist, sondern auch an einem und demselben Orte, bald in längerer, bald in kürzerer Zeit, manchmal jährlich, zuweilen täglich und stündlich, sich nach Gesetzen ändert, die uns noch völlig unbekannt sind, macht die Benutzung der Nadel schwierig, zuweilen unzuverlässig. Im Allgemeinen ist die Abweichung, die man mit einer genau gearbeiteten Nadel, welche ein Declinatorium genannt wird, beobachten kann, beinahe für ganz Europa gegenwärtig westlich. So viel Grade demnach diese westliche Abweichung an einem Orte beträgt, so viel muß man nach Osten hin zurückzählen, um die wahre Nordgegend zu bestimmen. Ein Strich der Erde, welcher von Nordamerika nach dem mexicanischen Meerbusen und Brasilien an das atlantische Meer hinzieht, scheint bis jetzt gar keine Abweichung zu haben, sowie ein anderer Strich, der durch Mittelasien und das Südmeer geht. Diese Linien, in deren Punkte die Declination Null ist, werden Linien keiner Abweichung genannt, und haben eine ganz eigenthümliche Krümmung. Die Oerter aber, welche von dem ersten Striche ostwärts liegen, haben eine westliche, die westwärts liegenden eine östliche Abweichung. Die Linie, welche durch die Punkte der Erde geht, deren Abweichung gleich groß ist, wird eine isogonische Linie genannt. Wie sehr aber die Abweichung für jeden einzelnen Ort sich verändert, kann man daraus abnehmen, daß im siebenzehnten Jahrhundert, wo man erst anfing, der Abweichung der Magnetnadel die gehörige Aufmerksamkeit zu widmen, ein eben solcher Strich, wie er etwa jetzt durch Amerika geht, durch Europa ging, so daß London und Paris, wo man diese Abweichung zuerst mit vielem Fleiße zu beobachten anfing,

Digitized by Google

nach und nach in diesen Strich zu liegen kamen, und keine Abweichung hatten. Erst von da an ging die Abweichung in eine westliche über. Wahrscheinlich, wenn schon nicht völlig sicher, ist die Richtigkeit der Behauptung, daß nach und nach immer andere Erdstriche keine Abweichung der Magnetnadel haben werden, und daß daher die jetzt bei uns stattfindende westliche Abweichung einmal wieder aufhört, und dann in eine östliche übergehen wird. Diese merkwürdige und für die Schiffahrt so wichtige Bewegung der Magnetnadel hat die Erfindung eigner Instrumente veranlaßt, welche dazu dienen, die Abweichung jedesmal gehörig bestimmen zu können. Auch hat man, zum Gebrauch der Seefahrer, besondere Karten und Tabellen entworfen, welche die, nach Beobachtungen bestimmten Abweichungen verschiedener Gegenden enthalten, die aber, da die Abweichung veränderlich ist, von Zeit zu Zeit einer Berichtigung bedürfen. Außer dieser Abweichung, welche zwar an und für sich keine sehr regelmäßige zu seyn scheint, doch aber, um ihren Umlauf zu vollenden, mehrere Jahrhunderte gebraucht, und die gegenwärtig im nördlichen Deutschland etwa 16 bis 17, im südlichen etwa 19 bis 20 Grad beträgt, und seit zwanzig Jahren überhaupt im Abnehmen ist, macht die Magnetnadel noch andere abweichende Bewegungen, die in den verschiedenen Jahreszeiten, zuweilen auch täglich stattfinden. Nach angestellten Beobachtungen ist bei uns die westliche Abweichung zur Zeit der Herbstnachtgleiche am größten, zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche am kleinsten, und eben so nimmt sie auch täglich von Morgens 8 Uhr an bis um 2 Uhr Mittags zu, von da an wieder ab. Man nennt dieses die Variation der Nadel, die magnetische Ebbe und Fluth. Zu diesen Abweichungen gesellen sich auch noch andere, die aber mehr zufällig sind, und die zum Unterschied Ablenkungen, Abirungen, Deviationen genannt werden. Zu diesen gehören die unruhigen Bewegungen, in welche die Magnetnadel geräth, wenn vulkanische Ausbrüche bevorstehen, Erdbeben drohen und Nordlichter erscheinen, so wie die, welche zuweilen einer gewissen Gegend eigenthümlich anzugehören scheinen.

Neben der östlichen und westlichen Abweichung, die man kennen muß, wenn man auf jedem Punkt der Erde mit Hülfe einer Magnetnadel die Weltgegenden genau bestimmen will, stellt diese Nadel auch noch eine andere äußerst merkwürdige Erscheinung dar. Wenn man nämlich eine noch nicht magnetische Nadel so auf eine Spitze stellt, daß sie eine vollkommen horizontale Lage hat, so wird sie, sobald sie magnetisirt worden ist, diese Lage verlieren. In unsern Gegenden neigt sie alsdann ihren Nordpol tief gegen die Erde herab, und ihr Südpol steht in die Höhe. Der Winkel, den die Nadel in diesem Zustand mit der Horizontallinie macht, wird die Neigung oder die Inclination genannt. Diese Inclination zu messen, hat man wohl eigene Instrumente erfunden, die man Inclinatorien oder Neigungscompasse nennt, allein sowohl die Verfertigung, als der Gebrauch eines Inclinatoriums ist mit so vielen Schwierigkeiten verbunden, daß man nur wenig Beobachtungen kennt, welche die Inclination mit Zuverlässigkeit bestimmen, die übrigens, so wie die Declination, nicht allenthalben von einerlei Größe ist. Eine Linie, welche durch die Orte geht, in denen die Inclination gleich groß ist, wird eine isoklinische Linie genannt. In unsern Gegenden beträgt die Inclination etwa 72 Grad, in Lappland 78 Grad, in Spitzbergen 82 Grad, und so nimmt sie, je näher man dem Nordpol der

Digitized by Google

Erde kommt, immer mehr zu, so daß es wahrscheinlich eine Stelle gibt, wo die Magnetnadel ihre horizontale Lage in eine völlig lothrechte verwandelt. Umgekehrt nimmt aber die Inclination immer mehr ab, je mehr man gegen Süden kommt, bis sich endlich in der heißen Zone ein Gürtel findet, der den Aequator etwa unter einem Winkel von 12 Grad schneidet, in welchem gar keine Inclination Statt hat, und die Magnetnadel horizontal steht. Dieser Gürtel, welcher in der nördlichen Halbkugel über, in der südlichen unter dem Aequator hinzieht, wird der magnetische Aequator genannt, so wie man die durch die beiden Pole der Magnetnadel gehende lothrechte Ebene den magnetischen Meridian nennt. Jenseit des magnetischen Aequators fängt der Südpol der Nadel zu incliniren an, und der Nordpol steht dann in die Höhe. Je näher man dem Südpol der Erde kommt, desto größer wird auch diese Inclination, bis auch hier, wahrscheinlich in der Gegend von Neu-Seeland, eine Stelle kommt, wo die Nadel sich lothrecht stellt. Da zum Gebrauch der Magnetnadel die horizontale Stellung derselben erforderlich ist, so wird, besonders auf Seereisen, bald die nördliche, bald die südliche Hälfte der Nadel, je nachdem man sich dies- oder jenseit des magnetischen Aequators befindet, mit einem kleinen verschiebbaren messingenen Ring beschwert, wodurch die Nadel horizontal gestellt werden kann.

§ 248. (Magnetismus der Erde.) Die merkwürdigen Erscheinungen, welche eine Magnetnadel in Beziehung auf Inclination darstellt, scheinen ganz unzweideutig darzuthun, daß die Erdkugel selbst als ein großer, wenn gleich nicht sehr starker Magnet zu betrachten sey, da sie in verschiedenen Gegenden auf die Nadel dieselben Wirkungen hat, wie überhaupt ein Magnet auf den andern wirkt. Wird z. B. ein freischwebender magnetischer Eisendraht von einem größern Magnet angezogen, so wird er sich, an einen Pol gehalten, senkrecht stellen, in gleicher Entfernung von beiden Polen platt anlegen, wenn er aber einem Pole näher als dem andern ist, eine Inclination nach dem nähern Pole haben. Da aber zwei Magnete sich nur dann anziehen, wenn ihre ungleichnamigen Pole einander genähert werden, so muß man mit der Annahme, daß die Erdkugel ein Magnet sey, auch die verbinden, daß die Pole des Erdmagnets eine solche Lage haben, daß dessen Südpol nach dem Nordpol der Erde, dessen Nordpol aber nach dem Südpol der Erde hin liege. Das Ende der Nadel, welches wir, der Weltgegend nach, wohin es gerichtet ist, deren Nordpol nennen, gibt also eigentlich die Lage des magnetischen Südpols an, und das andere Ende, welches wir den Südpol der Nadel nennen, bezeichnet dann die Lage des magnetischen Nordpols. Fielen nun die magnetischen Pole genau mit den Erdpolen zusammen, so würde auch keine Declination stattfinden. Daß sie wirklich stattfindet, beweist also, daß die magnetischen Pole von den Polen der Erde etwas entfernt sind. Der Erdmagnetismus ist aber nicht an allen Orten der Erde von gleicher Stärke, und ist überhaupt in kälteren Gegenden größer, als in wärmeren; am kleinsten ist sie, nach angestellten Beobachtungen, in Südafrika, woselbst es auch am heißesten ist. Zur Messung dieser Stärke sowohl, als zu einer genaueren Bestimmung der Declination, und den auch nur kleinen Veränderungen in der Richtung der Magnetnadel, hat Gauß einen sinnreichen Apparat angegeben, den man einen Magnetometer nennt, so wie einen Bifilarmagnetometer, der dazu dient, die täglichen Veränderungen in der horizontal wirkenden magnetischen Kraft der Erde zu bestimmen.

Digitized by Google

Auch mit der Höhe nimmt die Stärke des Erdmagnetismus ab, und Forbes glaubt, daß sie sich um 0,001 vermindere für eine Höhe von 3000 Fuß über die Meeresfläche.

Mit der erwähnten Hypothese sind indeß die Veränderungen, welche sowohl in der Declination als Inclination vorgehen, noch keineswegs erklärt. Viele Physiker suchen daher diese sonderbaren Erscheinungen dadurch zu erklären, daß sie annehmen, die Achse des Erdmagnets müsse durch Einwirkungen, die man nicht kenne, ihre Lage stets, doch langsam verändern. In Betreff der jährlichen und täglichen Veränderungen aber, welche man in den Bewegungen der Nadel wahrnimmt, glauben einige Naturforscher, daß diese von dem Einflusse der Temperatur abhingen, so wie gewisse örtliche Unregelmäßigkeiten von nahe liegenden Magneten, z. B. magnetischen Felsenmassen, herrühren könnten. Mit einem Worte, alle diese Erscheinungen sind Wirkungen tiefer unergründbarer Ursachen, für deren Erforschung unsere Hypothesen nicht ausreichen, noch nicht einmal als leidliche Behelfe zu betrachten sind.

Noch viel schwieriger ist daher die Beantwortung der Frage: Worin der Magnetismus der Erde eigentlich begründet sey? Es gab Physiker, die sich vorstellten, es gäbe eine eigne magnetische Materie, welche in einem Magnet gleichsam in wirbelnder Bewegung sey. Andere nehmen an, daß die magnetische Materie in ihren eigenen Theilen sich abstoße, von Eisen und Stahl aber angezogen werde. In einem Magnet entstehe, wie dieses nach dem unitarischen System der Elektrizität der Fall ist, auf einer Seite Ueberfluß, also + M, auf der andern Seite Mangel, also — M, darum auch die ungleichnamigen Pole, wie die ungleichnamigen Elektrizitäten sich anziehen, die gleichnamigen sich abstoßen. Noch andere nehmen, nach dem System der Dualisten, zwei magnetische Materien an, die sich wechselseitig anziehen, jede aber ihre eigenen Theile abstoße. Im Eisen sind beide Materien gebunden und im Gleichgewicht, im Magnet aber sind sie getrennt, und jede in einem der Pole angehäuft. So viel Schwierigkeit aber auch eine Theorie über den Ursprung des Magnetismus hat, so scheint doch die Hypothese von dem Erdmagnetismus auch durch die bereits oben mitgetheilte Erfahrung, daß nicht magnetische Eisenstäbe, schon durch eine bestimmte Lage im magnetischen Meridian, magnetisch werden, eine Begründung zu erhalten, so wie durch die merkwürdigen Beobachtungen, daß eine Magnetnadel immer rascher hin- und herspielt, oder mehr Schwingungen in derselben Zeit macht, je näher man einem der Pole des Erdmagnets ist. Alexander von Humboldt bemerkte, daß eine Magnetnadel zu Paris in 10 Minuten 245 Schwingungen machte, die in Peru in derselben Zeit nur 211 gemacht hat. Die Linie aber, welche solche Orte der Erde mit einander verbindet, an denen der Magnetismus von gleicher Stärke ist, wird eine isodynamische Linie genannt.

Zuweilen kommt es darauf an, eine Magnetnadel zu besitzen, auf welche der Erdmagnetismus keinen bemerkbaren Einfluß hat. In diesem Falle muß die Nadel so aufgestellt werden, daß die sie tragende Achse in der Richtung der Inclinationsnadel liegt. Eine so aufgestellte Nadel wird eine astatische Nadel genannt. Mit einer solchen Nadel lassen sich geringe magnetische Wirkungen wahrnehmen.

§ 249. (Elektromagnetismus.) Aeußerst merkwürdig und von außerordentlichem Einfluß für die ganze Lehre der Elektrizität und des Magnetismus ist die von dem Professor Oersted in Kopenhagen im Jahre 1820

Digitized by Google

gemachte Entdeckung, daß eine Magnetnadel, auf welche ein geschlossener galvanischer Kreis einwirkt, aus ihrer Lage komme, und je nach Umständen, bald östlich, bald westlich, abweiche. Diese wichtige Erscheinung, von der man früher, wo man sich nur offener galvanischer Kreise bei Versuchen mit der Volta'schen Säule und der Trog- und Zellenapparate bediente, keine Ahnung hatte, war kaum bekannt geworden, so fing sie auch sogleich an, alle Physiker des In- und Auslandes ungemein zu beschäftigen, und höchst wundervolle Wahrnehmungen herbei zu führen. Eine Menge Versuche mit eigens dazu erfundenen Apparaten zeigten, daß ein geschlossener galvanischer Kreis völlig so, wie der Magnetismus, wirke, daß er alle Metalle, durch welche der elektrische Strom eines solchen Kreises fließe, magnetisch mache, und daß es nur eines Kreisens dieses Stromes um einen stählernen Stab bedürfe, um ihn zu einem dauernden starken Magnet umzuschaffen.

Den Inbegriff aller magnetischen Erscheinungen, welche durch Elektrizität hervorgebracht werden, nennt man Elektromagnetismus. Daß zwischen Elektrizität und Magnetismus eine Wechselwirkung sich ankündige, wurde längst schon von vielen Physikern behauptet, theils aus der auffallenden Aehnlichkeit in den Gesetzen der Anziehungen und Abstoßungen, theils aus der Wahrnehmung, daß starke elektrische Batteriefunken, noch mehr aber der Blitz, vermögend seyen, unmagnetischen Stahl magnetisch zu machen, und umgekehrt: den Magnetismus im Stahle zu zerstören, zuweilen seine Polarität umzukehren (§ 233). Weitere Versuche, die man zur Auffindung dieser Wechselwirkung anstellte, waren aber zu wenig entscheidend, um genügende Resultate daraus ableiten zu können. Nur erst die Wahrnehmung, daß ein feiner Platindraht, durch welchen Oersted die beiden Pole einer starken Volta'schen Säule verbunden hatte, und er dadurch glühend geworden war, eine Magnetnadel, über die er hinging, in eigenthümliche Schwankungen versetzte, führte auf die eigentliche Entdeckung dieses wichtigen Zweiges der Physik. Seitdem nun Oersted's Entdeckung bekannt geworden ist, hat die Reichhaltigkeit der elektromagnetischen Erscheinungen so ungemein sich vergrößert, und die Apparate, durch welche sie hervorgebracht werden, haben sich dermaßen vervielfältigt, daß es eignen bogenreichen Werken überlassen bleiben muß, diesen Gegenstand, der immerfort noch an Umfang zunimmt, mit Vollständigkeit zu behandeln. Eine der wichtigsten Anwendungen, die man dieser neuen Entdeckung verdankt, ist ihre Benutzung zu Telegraphen, da diese gegen die gewöhnlichen optischen Telegraphen den Vorzug haben, daß sie bei Nacht eben so gut, wie am Tage gebraucht werden können. Für dieses Werk mag es jedoch genügen, nur Einiges von diesen merkwürdigen Erscheinungen zu berühren.

1) Wenn eine Volta'sche Säule durch einen Messingdraht, oder sonst einen Metalldraht geschlossen, und eine Magnetnadel diesem geschlossenen Kreis genähert wird, so nimmt sie gegen den Draht eigenthümliche Stellungen an. Auch macht der durch den Draht gehende elektrische Strom diesen Draht selbst magnetisch, dergestalt, daß er, in Eisenfeile gehalten, diese anzieht. Oeffnet man den Kreis, so hört der magnetische Zustand des Drahts sogleich auf, und die Eisenfeile fällt wieder ab.

2) Wird eine Volta'sche Säule so geschlossen, daß das Nordende des Schließungsdrahts mit dem negativen, das Südende mit dem positiven Pol in leitender Verbindung ist, und geht der elektrische Strom dieser

Digitized by Google

Säule über einer Magnetnadel weg, die horizontal schwebt, und im magnetischen Meridian genau parallel mit dem Leitungsdraht ist, so weicht der Nordpol der Nadel nach Westen ab, dagegen nach Osten, wenn der Leitungsdraht genau unter der Nadel liegt. Hier bewirkt demnach der Einfluß des elektrischen Stroms Declinationsveränderungen. Dagegen bewirkt er Inclinationsveränderungen, wenn Nadel und Leitungsdraht in genau gleicher Höhe nebeneinander liegen. Liegt der Leitungsdraht auf der Ostseite der Nadel, so wird der Nordpol derselben gehoben, hingegen herabgezogen, wenn der Leitungsdraht auf der Westseite der Nadel angebracht ist. Wird aber die Säule so geschlossen, daß das Nordende des Schließungsdrahts mit dem positiven, das Südende mit dem negativen Pol in leitender Verbindung ist, so kehren sich die vorigen Erscheinungen um, so daß jetzt, wenn der Leitungsdraht entweder über, oder unter der Nadel hingeht, die östlichen und westlichen Abweichungen entgegengesetzt erfolgen, wie auch die Hebung und Senkung der Nadel, wenn er neben derselben in gleicher Höhe ist.

Vielfache Wiederholungen dieser Versuche haben aber gezeigt, daß der Elektromagnetismus weniger von der Quantität, als von der Intensität der Elektrizität (§ 237) abhänge, und daß daher die angegebenen Erscheinungen noch verstärkter sich zeigen, wenn statt einer Volta'schen Säule, die Versuche mit einer einfachen galvanischen Kette (§ 235) angestellt werden, deren Platten jedoch recht groß seyn müssen. Hierbei findet aber der merkwürdige Umstand Statt, daß die Bewegungen der Magnetnadel in ihrer Lage gegen den Leitungsdraht der Kette denen entgegengesetzt sich zeigen, die bei der Anwendung einer Volta'schen Säule zum Vorschein kommen, so daß z. B. bei einer einfachen Kette die Abweichung der Nadel westlich ist, unter denselben Bedingungen, wo sie bei der Säule östlich war, u. s. w.

Ist bei der Säule (Fig. 201) die Abweichung der Nadel nach der Richtung der Pfeile, so sieht man (Fig. 202) an diesen die entgegenge-

Fig. 201.

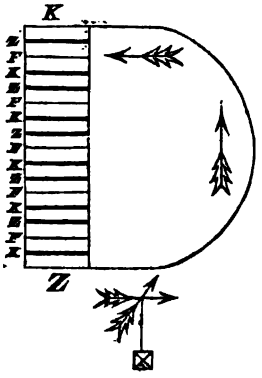
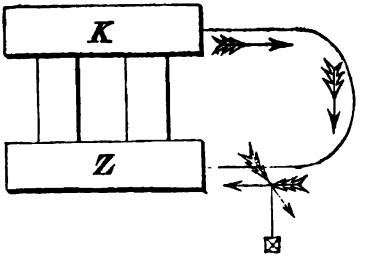



Fig. 202.




setzte Richtung, wenn man sich einer einfachen Kette bedient.

Denkt man sich so in dem elektrischen Strom liegend, daß bei einer Säule die Füße nach dem Zinkpole, bei einer einfachen Kette aber nach

Digitized by Google

dem Kupferpole zu liegen, während das Gesicht nach der Magnetnadel gerichtet ist, so weicht der Nordpol der Magnetnadel stets links ab.

Diese Erscheinung ist offenbar eine Folge in der Richtung des elektrischen Stroms, der bei einer Säule, wo die entgegengesetzten Elektrizitäten von einem Element zum andern geleitet werden, in dem Leitungsdraht eine Richtung haben muß, welche der in dem Leitungsdraht einer einfachen Kette, die nur aus einem Plattenpaar besteht, entgegengesetzt seyn muß, so daß er hier von Süden nach Norden geht, wo er dort von Norden nach Süden ist, und umgekehrt, daher auch entgegengesetzte Wirkungen erzeugt.

3) Entladet man eine Volta'sche Säule durch einen kurzen, dann wieder mit einem langen Draht von derselben Dicke, so ist bei jener Entladung die Wirkung auf eine Magnetnadel stärker, als bei dieser. Hieraus läßt sich aber abnehmen, daß der galvanische Strom in dem Leitungsdrahte einen Widerstand findet, der sich je öftermalen wiederholt, je länger der Draht ist. Hiernach hat man auch gefunden, daß zwar die Stromstärke der elektromotorischen Kraft proportional ist, daß sie aber zugleich auch sich umgekehrt wie der Widerstand verhält. Dieses wichtige Gesetz, nach welchem sich die günstigste Anordnung einer Säule für einen bestimmten Gebrauch berechnen läßt, wird, nach seinem Entdecker, das Ohm'sche Gesetz genannt. Indem aber der elektrische Strom aus den metallischen Leitern in eine Flüssigkeit übergeht, erleidet er noch einen andern Widerstand, den man den Uebergangswiderstand nennt. Uebrigens hat Lenz die Leitungsfähigkeit der Metalle, die zugleich bei allen mit der Zunahme der Temperatur sich verkleinert, für Null Grad, und bei gleicher Länge und Dicke, wie folgt, bestimmt.

Setzt man nämlich die Leitungsfähigkeit des Kupfers = 1, so ist die des Silbers 1,362; Goldes 0,798; Zinns 0,308; Messings 0,293; Eisens 0,177; Blei's 0,146; Platins 0,141. Der Leitungswiderstand, der mit der Temperaturerhöhung sich vergrößert, findet sich dann durch die Umkehrung dieser Verhältnißzahlen. So ist er z. B. für Silber $= \frac{1}{1{,}362} = 0{,}73$; für Gold $= \frac{1}{0{,}798} = 1{,}26$ u. s. w. Für Flüssigkeiten, bei welchen auch eine Temperaturerhöhung eine umgekehrte Wirkung hat, gelten wieder andere Verhältnisse.

4) Auf die Declinatinations- und Inclinationsveränderungen hat weder die Form des Leitungsdrahts, noch das Metall, aus welchem er besteht, einen besondern Einfluß. Alle ziehen Eisenfeile an, jedoch stärker, wenn sie wie eine Spirale gewunden sind, und obgleich sie diese Eigenschaft nur so lange behalten, als sie die Kette schließen, so erregen sie doch im Stahle bleibenden Magnetismus, wenn die Stahlnadel quer über den gewundenen Leitungsdraht gelegt wird. Werden aber über den Leitungsdraht Nadeln aus Eisen, Kupfer, Silber oder andern Metallen gelegt, so werden sie nicht magnetisch.

5) Dergleichen gewundene Leitungsdrähte hat man zu einem Werkzeug benutzt, durch welche man prüfen kann, ob durch Berührung zweier Körper Elektrizität erregt werde, und von welcher Stärke sie sei. Nach seinem Erfinder wird ein solcher Apparat ein Schweigger'scher Galvanometer oder Multiplicator genannt.

6) Windet man einen Kupferdraht schraubenförmig um eine Glasröhre, und bringt man in diese Röhre eine Stahlnadel, so wird diese

Digitized by Google

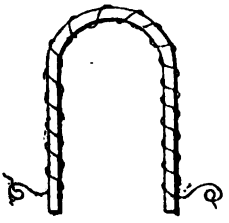
augenblicklich magnetisch, wo der galvanische Strom beginnt, oder wo eine Verstärkungsflasche durch den Kupferdraht entladen wird.

7) Eine Verstärkungsflasche, die Savary durch einen horizontalen Platindraht entlud, machte eine Stahlnadel, die in ihrer Mitte senkrecht darüber aufgehängt war, in der Art magnetisch, daß dasselbe Ende bald Nordpol, bald Südpol wurde, je nach der Entfernung, die sie von dem Drahte hatte, und nach der Dicke des Drahtes. Hieraus erklärt sich auch, wie durch einen Blitz, der in der Nähe einer Magnetnadel einschlägt, deren Pole bisweilen umgekehrt werden können.

8) Die Vermuthung, daß auch zwischen dem Erdmagnetismus und der elektrischen Ströme eine Wechselwirkung bestehe, wurde durch Versuche in Bergwerken, wie durch Fox in den Gruben von Cornwall, durch Reich in denen von Freiberg u. A. nachgewiesen.

9) Weiches Eisen verliert zwar seinen Magnetismus wieder, sobald es dem Einfluß des elektrischen Stromes entzogen wird, allein Sturgeon fand, daß die Erregung des Magnetismus unendlich größer im weichen Eisen als im gehärteten Stahle sey, und daß man sich daher von weichem Eisen Magnete verschaffen könne, die eine sehr große Tragkraft besitzen. Zu dem Ende nimmt man ein Hufeisen von recht gleichförmigem Gefüge, das an seinen beiden Enden möglichst geebnet ist. (Fig. 203.) Dieses Hufeisen umwindet man mit einem Kupferdrahte, der mit Seide umsponnen ist, immer nach derselben Richtung, und versieht jedes Drahtende mit einem Schälchen, in welchem etwas Quecksilber enthalten ist. Bringt man nun diese Vorrichtung mit den Polen einer einfachen Kette in Verbindung, so wird das Hufeisen schnell zu einem kräftigen Magnet, dessen Nordpol da liegt, wo der Nordpol des Drahtes sich befindet, dessen Polarität man aber augenblicklich umkehren kann, wenn man die Richtung des elektrischen Stromes umkehrt. Wendet man schwere Eismassen und starke Ströme an, so erhält man Elektromagnete, die mehrere tausend Pfund zu tragen vermögen; allein mit der Abnahme Armatur (§ 245) dauert die magnetische Vertheilung nicht lange mehr fort.

Fig. 203.



10) Diese Eigenschaften des weichen Eisens in seinem Verhältniß zu dem elektrischen Strom und dem Magnetismus haben Jacobi, Wagner u. A. als eine wirksame Betriebkraft für allerlei Maschinen zu benutzen gesucht. Jacobi brachte hierzu vier hufeisenförmige Stäbe von weichem Eisen symmetrisch auf einer hölzernen Scheibe an, die um eine horizontale Achse beweglich war, und vier andere von gleicher Art auf einem festen Gestelle in gleicher Ordnung, die dann durch Verbindung mit dem Schließungsdraht einer Volta'schen Säule zu Elektromagneten gemacht wurden. Kam die Scheibe in Bewegung, so drehten sich die Stäbe in derselben Richtung, und da Jacobi durch eine Vorrichtung, die er den Commutator nannte, dafür gesorgt hatte, daß die Pole der beweglichen Scheibe sich augenblicklich umkehrten, so wie sie den gleichnamigen Polen der unbeweglichen Scheibe gegenüber kamen, so konnte er auch der Bewegung die erforderliche Dauer verschaffen, und glaubte diese Einrichtung zum Betrieb einer Maschine von beinahe fünfzig Pferdekraft in Anwendung bringen zu können. Für die Anwendung im Großen

Digitized by Google

hat aber bis jetzt weder diese Maschine, noch die Wheatstone's, von Wagner u. A. sich vollkommen bewährt.

11) Auf denselben Eigenschaften des weichen Eisens beruht auch die Einrichtung des elektromagnetischen Telegraphen, dessen Mechanismus im Wesentlichen folgender ist: An der Achse eines Steigrades in einem Gehwerk, ähnlich einer Penduluhr, ist ein Zeiger befestigt, der über einer Scheibe geht, auf welcher die Buchstaben des Alphabets, oder andere Zeichen, im Kreise herumstehen, und der vermittelst eines Elektromagnets in den Gang kommt. So wie nämlich durch den Draht des Elektromagnets ein elektrischer Strom geleitet, und das Eisen dadurch magnetisch wird, zieht es einen, in einiger Entfernung davor liegenden, an einer Stange befestigten eisernen Anker an, der aber, wenn die Kette wieder geöffnet wird, wo das Eisen seinen Magnetismus wieder verliert, auch sogleich wieder zurückfällt. Durch diese Bewegung bewegt sich auch das Steigrad an der Stange, somit auch der Zeiger um einen Buchstaben vorwärts. Befinden sich nun zwei solche gehörig eingerichtete Vorrichtungen an zwei von einander entfernten Stationen, deren Zeiger auf demselben Buchstaben, z. B. auf A stehen, und sind deren Spiraldrähte durch Kupferdrähte, die von einer Station zur andern gehen, ohne Unterbrechung und ohne sich zu berühren, mit einander verbunden, so werden beide Zeiger von dem Buchstaben A auf B sich bewegen, so wie ein elektrischer Strom durch die Drahtschließung geleitet und wieder unterbrochen wird, wo dann durch wiederholte Schließung und Oeffnung der Kette beide Zeiger von B auf C sich bewegen u. s. f. Um nun die Buchstaben eines Wortes von einer Station nach der andern zu bringen, braucht man nur die Kette schnell so oft zu schließen und zu öffnen, bis die Zeiger den ersten Buchstaben des Wortes anzeigen, und dann einige Augenblicke inne zu halten Auf gleiche Weise wird alsdann der zweite Buchstabe des Wortes angezeigt, u. s. f. nach und nach alle Buchstaben dieses Wortes. Bei der überaus großen Geschwindigkeit des elektrischen Stromes (§ 233. 9) erfolgt aber das Anziehen und Abfallen des Ankers auf beiden Stationen augenblicklich, und so gut wie gleichzeitig.

§ 250. (Magnetoelektrizität.) So wie nun durch Elektrizität Magnetismus erregt werden kann, so hat man nun auch Apparate erfunden, durch welche man umgekehrt Elektrizität durch Magnetismus erregt, welche Erscheinungen man magnetoelektrische nennt, und die durch Magnetismus erregte Elektrizität heißt dann Magnetoelektrizität. Unter andern hat man jetzt einen magnetoelektrischen Apparat, der starke Funken gibt, heftige Schläge und Erschütterungen bewirkt, das Wasser zersetzt, und selbst Platindraht glühend macht. Die von vielen Physikern gehegte Vermuthung, daß durch Magnetismus Elektrizität erregt werden könne, wurde jedoch zuerst von Faraday im Jahre 1831 wirklich entdeckt. Zu seinen ersten Versuchen über diesen interessanten Gegenstand bediente er sich Kupferdrähte, die mit einem isolirten Nichtleiter überzogen waren, und die um irgend einen Körper so gewunden wurden, daß sie einander sehr nahe blieben. Die Enden des einen Drahts wurden mit den beiden Elementen einer einfachen Volta'schen Kette verbunden, während die Enden des andern Drahts, vermittelst eines Multiplicators, die erzeugte Elektrizität sichtbar machte. Bald darauf wurden aber sowohl von Faraday selbst, als auch von Hachette, Pouillet, Ampere, Nobili u. A. die Apparate zu diesen Versuchen so sehr vervollkommnet und ver-

Digitized by Google

mehrt, daß durch die großen Resultate, die damit zum Vorschein kamen, auch die Gesetze dieser Erscheinungen näher erforscht werden konnten, wobei es sich auch herausstellte, daß die Magnetoelektrizität im Ganzen von gleicher Wirkung mit der Reibungs- und Berührungselektrizität sey.

§ 251. (Thierischer Magnetismus.) Vor etwa sechzig Jahren behauptete Dr. Meßmer in Wien, daß nicht nur allein der Stahl zur Annahme der magnetischen Kraft geschickt sey, sondern überhaupt alle Körper, die er berühre, magnetisch werden könnten, und er im Stande sey, alle hypochondrische und hysterische Zufälle durch eine solche magnetische Cur zu heilen. Diese neue Heilmethode fand ihre Gegner, seit einiger Zeit aber auch viele Anhänger und Vertheidiger, von denen sie nicht nur der Vergessenheit entrissen, sondern auch viel weiter ausgebildet wurde. Im Allgemeinen besteht das Wesen des thierischen Magnetismus darin, daß ein Mensch von starken Nerven und kräftigem Willen einen andern Menschen, der in einem reizbaren Zustand sich befindet, nach gewissen Richtungen mit den Händen, mit oder ohne Berührung, bestreicht. Durch diese Operation wird, wenn keine besonderen Umstände störend einwirken, in dem bestrichenen Menschen ein Zustand herbeigeführt, in welchem das Sinnvermögen aus seinem gewohnten Kreise heraustritt. Dieser Zustand wird der magnetische Schlaf genannt. In dem magnetischen Schlafe, der mehrere Grade hat, finde ein dermaßen gesteigerter Zustand Statt, daß der Magnetisirte nicht nur im Stande seyn soll, die Gedanken anderer, mit ihm in magnetischer Verbindung (Rapport) stehender Personen zu errathen, sondern sogar zukünftige Begebenheiten voraus zu sehen, eine ihm ganz fremde Sprache zu verstehen, ohne die geringste ärztliche Kenntniß den Sitz einer Krankheit anzugeben, zu beurtheilen und die sichersten Heilmittel dagegen zu bestimmen, und dergl. außerordentliche Dinge mehr. In diesem Zustand, den man den Somnambulismus nennt, wird daher der darin sich befindende Mensch ein Somnambül, ein Hellsehender, ein Clairvoyant genannt.

Obgleich es nicht mehr in Abrede zu stellen seyn mag, daß der thierische Magnetismus für gewisse Personen, die an Nervenzufällen leiden, ein zweckdienliches Heilmittel in der Hand des verständigen Arztes seyn kann, und wie der Verfasser es mit angesehen und theilweise ausgeführt hat, es auch wirklich ist, so ist doch der Gegenstand selbst, in so fern die dabei wirksame Naturkraft nicht der anorganischen Natur angehört, auch kein Gegenstand für die Physik, sondern für die Physiologie und, als Heilmittel betrachtet, für die Arzneiwissenschaft. Mit dem mineralischen Magnetismus hat der thierische nur das gemein, daß er ebenfalls durch Bestreichung, jedoch in einem ganz andern Sinne, erregbar ist. Zu bedauern ist, daß die an sich gewiß nicht unwahren wundervollen Erscheinungen, welche der thierische Magnetismus in mancher Beziehung darbietet, so stark gesteigert worden sind, daß dadurch der Schwärmerei, dem Mystizismus, der Leichtgläubigkeit und dem Aberglauben schon öfters in die Hand gearbeitet worden ist, und noch gearbeitet wird, bei Solchen, die sich gern abentheuerlichen Uebertreibungen hingeben und durch schlaue Kunstgriffe sich in ihrem Irrwahn erhalten lassen.

**Multum operis restat.**

Digitized by Google

# Register.


A.

Abendröthe 448.
Abirung 517.
Abkühlung 352.
Ablenkung 517.
Ablenkungswinkel 431.
Abnahme des Lichts 387. — des Schalles 289. — der Schwere 89. 109.
Abplattung der Erde 108.
Abscheu der Natur 195.
Absolute Bewegung; Ruhe 49. — Cohäsion 25. — Expansivkraft 260. — Kraft 102.
Absolutes Gewicht 171. — der Luft 239.
Absorbiren 337.
Abstoßung 7. 18. — elektrische 468. 470. 501.
Abtheilung der Zeit 57.
Abwägung der Gasarten 259. — der Luft 239. — des Wassers 182.
Abweichung freifallender Körper 98. — der Magnetnadel 516. — der Strahlen 419. 459.
Abziehen 370.
Accelerirt 58.
Accomodationsvermögen 396.
Accord 276.
Achromatisch 459.
Achse 417 440.
Achsenumdrehung der Erde 99.
Aderhaut 393.
Adhäsion 32.
Adlergeschwindigkeit 54.
Aeolipila 363.
Aeolsharfe 278.
Aequator 518.
Aequivalent 47.
Aëronautik; Aërostatik 210.
Aërostat 209.
Aether 296. 299.
Aetzamoniak 461.
Affinität 38. 45.
Agens 295.
Aggregatzustand 9. 19.
Air light. 258.
Aktinometer 325.
Akustik 265.
Alcarazzas 352.
Alkohol 183.
Alkoholometer 182. 183.
Allgemeine Eigenschaften 7. — Schwere 18. 75. 93.
Amalgama 46. 469.
Ambos 293.
Amorph 21.
Analyse 45.
Anamorphose 426. 438.
Anatomischer Heber 162.
Angriffspunkt 58.
Anhaftung; Anhängung 32.
Animalische Wärme 350.
Anione 504.
Anker 513.
Anneigungsmittel 46.
Anode 504.
Anomalischer Magnet 512.
Anorganisch 2.
Anthrakometer 256.
Anziehung 7. 18. 75. 93. — elektrische 468. 470. 501. 503. 505.
Aphelium 97.
Apotheose 490.
Apparat 3. 219.
Aräometer 182.
Arbor saturni, jovis, dianae 22.
Archimedes Problem 189.
Armbrust 30.
Armirter Magnet 513.
Arteffischer Brunnen 171.
Aschenzieher 507.
Astatische Nadel 519.
Astronomie 2.
Astronomische Fernrohre 458. — Strahlenbrechung 436.
Astronomischer Meridian 516.
Atherman 337.
Athmen 223. 247.
Atmosphäre 192.
Atmosphärologie 375.
Atmosphärische Eisenbahn 229.
Atom 7.
Atomgewicht 48.
Attachirtes Thermometer 236.
Attraction 7. 18. 75. 93.
Aufhebungswinkel 105.
Auflösung; Auflösungsmittel 45. 46.
Auflösungspresse 166.
Aufthauen 352.
Auge und dessen Theile 393.
Augenachse 394.
Augengläser 458.
Ausdehnung 7. 181. 297. 300. 303. 304.
Ausdehnungs-Apparate 305. — Coefficienten 301.
Ausdehnsam 19. 28.


Digitized by Google

Auslader 482. 490.
Ausschlag 147. 374.
Azot 251.

B.

Bahn 51.
Balancir 372.
Balanciren 137.
Ballisten 30.
Barker's Mühle 168.
Barometer (Baroskop) 198. 204. - höhe; stand 200. - skale 202. - probe 217.
Barometrische Coefficienten 242. — Messungen 232. 241.
Basis 485.
Batterie 484. 498. 500.
Bauchredner 293.
Baum (chemischer) 22. 503.
Bärlappsamen 33.
Becherapparat 499.
Beharrung 14.
Belegen der Spiegel 33. 409.
Beobachtung 4. 5.
Beschickung 26.
Beschlagen 374.
Beschleunigt 58. 111.
Besondere Bewegung 51. — Eigenschaften 9.
Bestandtheile 13. — der Luft 192. 245. — des Quecksilbers 13. — des Wassers 252. 502.
Beugung 383. 452.
Bewaffneter Magnet 513.
Bewegbarkeit 13.
Bewegliche, das im Raume 14.
Bewegung 17. 49. — der Himmelskörper 15. 93. — des Lichts 383. — der Luft 244. — des Mondes 92. — des Schalles 284. — des Wassers 168.
Bewegung, drehende des Kampfers 38.
Bewegspunkt 133.
Biconver; biconcav 439.
Biegsam 26.
Bierwage 182.
Bifilarmagnetometer 518.
Bild 408. 421.
Binoculum 455.
Birnprobe 218.
Blasebalg 224.
Blasrohr 230.
Blasinstrumente 272.
Blaue Flämmchen 256.
Bläue des Himmels 447.
Blei 47.
Bleiasche 250.
Bleibaum 22. - loth 104.
Bleibende Farben 446.
Bleioxyd; Bleizucker 10.
Bleischrot 156.
Blendung 422. 459.
Blitz 508.
Blitzableiter 478. 492. 506.
Blitzkette; Blitztafel 491.
Blitzrad 501.
Blitzschuß 509.
Bohrbrunnen 171.
Bologneser Flasche 27.
Bolzen 149.
Bor 45.
Boussole 516.
Boyle'sche Leere 217.
Böse Wetter 257.
Branntweinentwässerung 10. - wage 182.
Braunstein 250.
Brechender Winkel 444.
Brechung des Lichts 429.
Brechungsexponent 433.
Brechungsgränze 434. - verhältniß 432. - vermögen 431. - winkel 431.
Breite der Hohlspiegel 416.
Brennbare Luft 253.
Brennkraftmesser 358.
Brennglas 441. - punkt; weite 417. 441. - spiegel 417.
Brennraum 418. 441.
Brille 455.
Brom 45.
Brückenwage 148.
Buchstaben der Tonleiter 274.
Büchsenkorn 101.
Büchsenkugelgeschwindigkeit 54.
Bumerang 101.

C.

Calcium 48.
Calibriren 200. 314.
Caloricum 296.
Calorimeter 341. 358.
Calorimotor 503.
Camera clara; lucida; obscura 457.
Caoutchuc 29.
Capacität der Wärme 340. 348.
Capillarität 40.
Capillarattraction; Depression 41.
Carbonium 45. 256.
Cartesianisches Teufelchen 193.
Celsius'sche Skale 311.
Centesimalskale 311.
Centralbewegung 70. - kräfte 72.
Centraler Stoß 116.
Centrifugal; petal 72.
Centrifugalregulator 73.
Centriren 440.
Changiren 447.
Charlesiere 262.
Chemie 2. 45.
Chemische Bäume 22. 503. — Feuerzeuge 329. — Harmonika 278. — Theilung 13. — Wirkungen der Electricität 488. — Wirkungen des Lichts 453. 461. — Wirkungen der Volta'schen Säule 502. 503. 505.

Digitized by Google

Chladnische Figuren 268.
Chlor 45.
Clairvoyant 515.
Coercitivkraft 512.
Cohäsion 18. 22. — der Balken 25. — der Seile 24.
Cohibiren 370.
Collectivglas 456.
Combinationston 278.
Communicationsröhre 292.
Communicirende Röhren 159.
Commutator 523.
Compas 516.
Compensationspendel 110. 301.
Comparative Wärme 340.
Complementär Farben 448.
Compression der Luft 229.
Compressionsbrunnen 230. -pumpe 215. 229.
Concavconcav; concavconver 439.
Concavglas 438. -spiegel 410. 416.
Concentrirte Schwefelsäure 38.
Condensation 369. 474.
Condensator 487.
Conductor 469. 479.
Consonanzen 276.
Conspirirende Kräfte 60.
Contactelektrizität 493.
Converconver 439.
Converglas 438. -spiegel 410. 424.
Constante Säule; Kette 500.
Copernikanisches System 94.
Correctionen 181. 203. 236. 304. 317.
Cylinderspiegel 410. 426.

## D.

Daguerreotyp 461.
Dalton's Gesetz 366.
Dampf 357. 370.
Dampfbarometer 364. -dichte 366. -kugel 368. -maschine 364. 370. -röhre 373. -wärme 362. -zersetzung 369.
Dasymeter 209.
Dauer des Lichteindrucks 404.
Deckel 485.
Declination 516.
Declinatorium 516.
Deflagrator 503.
Dehnbar 26.
Dehnbare Kraft 7.
Delisle'sche Skale 311.
Delüc'sches Thermometer 310.
Dephlogistisirte Luft 249.
Depolarisirt 451.
Desorydation 250.
Destillation 46. 370.
Deviation 517.
Dextrin 465.
Dezimalwage 148.
Diagonalkraft 61. - maschine 61.
Diamagnetisch 516.
Dianenbaum 22.
Diatherman 337.
Diatonisches Tonsystem 283.
Dichtigkeit 9. — des Dampfes 366. — der Elektrizität 480. — der Erde 191. — der Luft 289. — des Wassers 157. 303.
Dichtigkeitsmesser 209.
Dicke zu messen 8.
Differentialthermometer 318.
Diffraction 452.
Diffusion 259. 337.
Digestor 363.
Dimorph 48.
Dioptrik 383.
Dioptrische Anamorphosen 438. — Fernrohre 458. — Panoramen 461.
Dioram 461.
Directionslinie der Schwere 134.
Disperſion der Farben 443.
Dissonanzen 276.
Dollond'sches Fernrohr 459.
Donner 508. - häuschen 492.
Doppelconcav und conver 439.
Doppelkegel 137. -sehn 398.
Drache 67.
Drehende Schwingungen 268.
Drehwage 81.
Dreiklang 283.
Druck 51. -elektrizität 508. -höhe 169. -messer 199. -werk 224.
Drückende Kraft 102.
Drümmond'sches Licht 258. 456. 466.
Dualist 476.
Ductil 28.
Dunkle Kammer 457. — Körper 383.
Dunkelheit 390.
Dunst 357. 370. -höhle 256. -kugel 192.
Durchsichtig 383.
Dynamisch 7.

## E.

E 478.
Ebene, schiefe, 101.
Ebener Spiegel 410. 412.
Echo 290.
Effect der Dampfmaschinen 374.
Eiererhaltung 10.
Eigne Bewegung 51.
Eigenschaften 7. 26. — der Gasarten 249. — der Luft 192. — des Wassers 157. 340.
Eigenschwere 174.
Eigenthümliche Gewichte 174. — Wärme 340.
Einfache Bewegung 59. — Maschine 138. — Stoffe 45. — Einfache und verstärkte Funken 484.
Einfallsloth 411. 431. -winkel 131. 411. 431.
Einfallender Strahl 431.

Digitized by Google

Eingebildeter Brennpunkt 425.
Einleiter 470.
Eisbereitung 350. 352. -geräthschaft 341. -träger 359.
Eisen; Eisenoxyd; Eisenoxydul 45.
Eisenrost; -mohr 250.
Elastizität 28. -zeiger 218. — der Luft 28. 198.
Elaterometer 218. 475.
Electrische Atmosphäre (Wirkungskreis) 480. — Erscheinungen 467. 507. — Fische 507. — Körper 468. 472. — Lampe (Zündmaschine) 492. — Leiter 470. 495. — Lichtgestalten 474. — Phänomene und Versuche 488. — Säule 504. — Zustände 507.
Elektrischer Wind 475.
Elektrisirmaschine 469. 479. 489.
Elektrisirt 468.
Elektrizität 467. — durch Berührung 494. — Träger 485.
Elektrochemie 503.
Elektrode 504.
Elektrolyt 504.
Elektromagnetismus 519.
Elektrometer 475. -meteore 508. -motor 498. -skop 475. 505.
Elektromotorische Kraft 497.
Elektron 468.
Elektrophor 485. 492.
Element 45. 498.
Elemente der Maschinen 138.
Elementarwelt 184.
Elliptischer Spiegel 410.
Elmsfeuer, St. 509.
Elongationswinkel 165.
Emanationssystem 296. 380.
Emissionssystem 296. -vermögen 336.
Endgeschwindigkeit 112.
Endosmose 44.
Englische Bereiter 65. — Schwefelsäure 45.
Entbindung der Wärme 349.
Entgegengesetzte Elektrizität 472.
Entzündbare Luft 253.
Epiglottis 284.
Erdfall 163. -rohr 458. -schwere 75. -thermometer 322.
Ergänzungsfarbe 448. -theile 21.
Erhabener Spiegel 410. 424.
Erhabenes Glas 438.
Erhebung 437.
Erleuchtete Körper 383.
Erreger 494.
Erschütterungsflasche 481. -kreis 483.
Essigsaures Blei 10.
Erstickender Schwaden 257.
Eudiometer 258.
Eustachische Röhre 293.
Excentrischer Stoß 116. 129.
Excitator 494.
Exosmose 44.
Expansibil 19. 28.
Expansibilität 192.
Expansivkraft 7. — der Dämpfe 362 — der Luftarten 259.
Experimental-Physik 3.
Explosion 329.

## F.

Fadenelektroskop 475. -förmige Spannung 267.
Fahrenheit'sches Thermometer 309.
Falkengeschwindigkeit 54.
Fallmaschine 87.
Fallgeschwindigkeit 82. 111. 279. -raum 78. 84.
Fällung 46.
Fantasmagorie 457.
Farbe 443. — der Atmosphäre 447. — objective; subjective; physiologische 449.
Farbenbild 444. 459. -los 459. -ringe 451. 503. -spindel 446. -zerstreuung 443.
Farbige Schatten 449.
Fata Morgana 437.
Federharz 29.
Federkraft 28.
Feindliche Pole 512.
Fenster 293.
Fernrohr 458. -schreibmaschine 384. 524.
Feste Körper 19.
Festes Queckfilber 351.
Fettes Oel 37.
Feuchte Luft 375.
Feuchtigkeit 394. -messer 376.
Feuerbeständig 359. -fontaine 299. -luft 249. -maschine 371. -messer 319. -schutzmittel 333. -spritze 224. -zeug 323. 329.
Figirte Wärme 297.
Finder 460.
Fingerhutkette 503.
Finsterniß 390.
Fische (im Wasser) 198. — (zu schießen) 436.
Fixe Luft 256.
Fixirte Lichtbilder 461.
Fixsterne 386.
Flamme 327. 336.
Flaschenzug 150.
Fliegengeschwindigkeit 54.
Fliegende Brücke 66.
Fliehkraft 72.
Flintglas 432.
Florentinisches Thermometer 308.
Flußspathsaures Gas 258.
Flüchtiges Oel 37.
Flüssige Körper 19.
Fluor 45.



Digitized by Google

Focus 417.
Folgepunkte 512.
Folgen der Strahlenbrechung 425.
Folliren der Spiegel 33.
Form der Krystalle 21.
Fortführendes Vermögen 335.
Fortpflanzung des Schalles 284.
Frankfurter Sekundenpendel 106.
Franklin'sche Röhre 359. — Tafel 484.
Franklin'sches System 476.
Französische Skale 311.
Freie Wärme 297.
Freier Fall 76. 88. 109. — auf den Himmelskörpern 94. — zum Mittelpunkt der Erde 88.
Freies Thermometer 236.
Freundschaftliche Pole 512.
Friktion; rolle; scheibe 154.
Frostpunkt 311. 314. 354.
Fundamentalabstand 311.
Funicularmaschine 83.

## G.

G 473.
Gabel 147.
Galvanische Apparate 499. — Batterie 493. — Kette 495. 496. 498. — Kettenkreis 496. — Leiter (Conductor) 495. — Phänomene und Versuche 500. — Ströme 496.
Galvanismus 494. 506.
Galvanographie; -kaustik; -plastik 505. - meter 522.
Gang des Menschen 135.
Gas 192. 249. -basis 249. -wanne 249.
Gebrochene Bahn 70.
Gebrochener Strahl 431. — Winkel 431.
Gebundne Wärme 297.
Gebundnes Licht 466.
Gedackte Pfeife 282.
Gefälle 173.
Gefrierpunkt 303.
Gegenkraft 17.
Gehörgang; knöchelchen; nerv 293.
Geisterercheinung 424. 457.
Gekrümmter Spiegel 410.
Gemeinschaftliche Bewegung 51.
Gemenge 89.
Geneigte Ebene 101.
Geometrischer Mittelpunkt 416. 440.
Geothermometer 322.
Gerader Stoß 116.
Geräusch 278.
Geruch 356.
Geschmeidig 26.
Geschwindigkeit 52. 101. — der Elektrizität 489. — der Erde 54. — des Lichts 384. — der Luft 245. — des Pendels 115. — des Schalles 287. — auf schiefer Ebene 114. 279. — des Wassers 169. 173.
Gesicht 393.
Gesichtsbetrug 403. 425. - feld 456. - winkel 399.
Gestalt der Erde 91.
Gestaltlos 21.
Getöse 278.
Gewicht 89. 174. — des Dampfes 367. — der Gase 259. — der Luft 249. — des Wassers 182.
Gewitter 55. 508.
Glas (spiralförmig zu zerschneiden) 393. -ätzen 258. -elastizität 29. -elektrizität 473. -thräne; tropfen; wurm 27.
Gläserne Feuchtigkeit 394.
Gleichdauernd 105. -förmige Bewegung 57. -gewicht 59. 133. 139. 158. - namige Pole 512. -wage 146.
Glied 498.
Glockengut 29.
Glottis 284.
Glühen 327.
Glühlampe 257.
Gnomonik 392.
Göpel 148.
Götterwagen 61.
Goldraht 12. - regen 490.
Governor 73.
Gramm 182.
Gravimeter 182.
Gravitation 18. 74. - system 94.
Größe der Bewegung 51.
Grundkraft 18. - stoff 45. - ton 273. - ursache der Wärme 295.
Grünspan 250.
Guckkasten 469.
Guerick'sche Halbkugeln 228. — Leere 217.
Gummi Elasticum 29.
Gyps 20.

## H.

H 473.
Haarröhrchen 40. - verhältnisse 44.
Halbschatten 390.
Halber Leiter 471.
Halber Ton 274.
Hagel 508.
Hammer 293.
Harmonie 276.
Harmonika, chemische, 278.
Hart 26.
Harte Tonleiter 283.
Harzelektrizität 473.
Haspel 148.
Hauptfarben 445. - leiter 469. - schnitt 450. - strahl 428. - strom 503.
Haut 9.
Hebebaum 142.
Hebel 138. 142. — Werkzeuge 142.
Heber 220. — Barometer 200.

Digitized by Google

Heiligenschein 490.
Heiße Quellen 328.
Heliographie 461. - thermometer 325.
Helle Kammer 458.
Helligkeit 387.
Hellsehend 525.
Heronsball; Brunnen 225.
Hevea 29.
Hexenmehl 33.
Hinterfläche; seite 441.
Historische Naturwissenschaft 2.
Hochdruck 378.
Höhe der Atmosphäre 243. - messung 232. 241. 242. 361.
Hörrohr 292. - trompete 293.
Hoher Ton 278. 276.
Hohlglas 438. - spiegel 337. 410. 416.
Hornhaut 393. 396.
Hornsilber 46. 454.
Horopter 398.
Hundsgrotte 256.
Hydraulik 168.
Hydraulische Presse 166.
Hydroelektrisirmaschine 489.
Hydrogen 45. 253. - pol 502.
Hydromechanische Presse 617. - statik 168.
Hydrostatische Blasebälge 162. — Senkwage 182. — Wage 176.
Hydrostatisches Paradoxon 165.
Hydrothionsäure 10.
Hygrometer; Hygroscop 376.
Hyperbolischer Spiegel 410.
Hypomochlion 138.
Hypothese 5.

## J.

Idioelektrisch 472.
Impenetrabilität 8.
Inbegriff 9.
Inclination; Inclinatorium 517.
Inclinirte Ebene 101.
Incoercibilien 294.
Indifferentes Gleichgewicht 134.
Inductionsstrom 503.
In den Fluß kommen 355.
Inflamable Luft 253.
Inflexion 383. 453.
Infusion 8.
Inponderabel 9. 295.
Interferenz 173. 286. 453.
Intervall 273.
Jod 45. 464.
Jon 504.
Iris 393.
Irrespirabel 249.
Irrlicht 255.
Isochimen 327.
Isochronisch 105.
Isodynamisch 519.
Isoglinisch 517.
Isogonisch 516.
Isomerisch; Isomorph 48.
Isolatorium 473.
Isotherm; Isotheren 327.
Jupiter 54. 96. 384.

## K.

Kälte auf hohen Bergen 326. 336. - messer 379.
Kaleidoskop 415.
Kalkerde 256. - licht 258. 456. 466. - spath 450.
Kalotypes Papier 466.
Kalter Schlag 509.
Kammer 394.
Kanonenkugel 54.
Kapselapparat; Kastenapparat 499.
Katapulten 30.
Kathode 504.
Kation 504.
Katoptrik 383.
Katoptrische Anamorphosen 426. — Fernrohre 458. — Gleichungen 426.
Kautschuk 29.
Kaustisches Ammoniak 461.
Kegelspiegel 410. 426.
Kehlbänder 284.
Keil 103. 138. 151.
Keili 101.
Kepler'sche Regeln 95.
Kern 21. - schatten 390.
Kettenkette 498.
Kiesel 45.
Kimmung 437.
Klang 273. - figuren 268. — der Gläser 278.
Klappe 216.
Kleist'sche Flasche 481.
Klirrton 278.
Knall 273. - gasgebläse 356. - kügelchen 363. - luft 254.
Kochen 357.
Kochsalz 22. 39.
Königswasser 13.
Körper; Körperwelt 1. — Schwere 88.
Kohlenoxydgas 256.
Kohlensäure 247.
Kohlensaures Gas 256.
Kohlensäuerliches Kali 328.
Kohlenstoff 45. 256.
Kohlenwasserstoffgas 257.
Korn 101.
Kraft 17. 50.
Krämerwage 146.
Krahnen; Kranich 152.
Kronglas 432.
Krugbier 230.
Krumme Bahn 70.
Kryophorus 359.
Krystall 20. - linse 394.
Krystallisationswasser 350.



Digitized by Google

Kuchen 485.
Kugelspiegel 410.
Kunstkreuz 372.
Kupfer 47. -ende; pol 498.
Kurzsichtig 396.
Künstliche Magnete 514. — Pole 513.

L.

Labiles Gleichgewicht 134.
Labyrinth 293.
Länge der Aetherwellen 384.
Länge des Erdschattens 391.
Lamelle 21.
Lampe 255. 498. — ohne Flamme 257.
Lampenmikroskop 457.
Landhose 508.
Larinx 283.
Latente Wärme 297.
Latentes Licht 466.
Laterna magica 457.
Laufgewicht; Läufer 147.
Laugenwage 182.
Lebensluft 249.
Lederbüchse 217.
Leere 196. 217.
Legiren 26.
Leichtflüssig 355.
Leinölausdehnung 304.
Leuchtstein 454.
Leyden'sche Flasche 481.
Libelle 158.
Licht 379. -bild 461. -brechung 383. 429. -eindruck 404. -feinheit 382. -geschwindigkeit 55. 384. — der Himmelskörper 386. -loch; öffnung 394. -messer 393. -sauger; träger 454. -strahl 383. -stärke 387. 392. -zurückwerfung 383. 407.
Lichtenberg'sche Figuren 486. 502.
Lichterbrunnen 299.
Ligamenta glottidis 284.
Lineargeschwindigkeit 56.
Linien keiner Abweichung 516.
Linse 438.
Liquid 155.
Lochtiefe 132.
Locker 11.
Lockerheitmesser 182.
Longitudinalschwingungen 267.
Looming 437.
Lorgnette 455.
Loth 104.
Luft 191. -ball; schiff 210. 260. -bild 423. -druck 197. 201. 236. — Ebbe und Fluth 205. -elektrizität 488. 508. -elektrometer 475. -förmig 19. -gas 258. -gütemesser 258. -kissen 219. -Pumpe 215. 225. 231. 353. -reiniger 248. -röhrenkopf 283. -säure 256. -spiegelung 436. -strom 245. 325. -thermometer 307. 316. -Verdichtung und Verdünnung 229. 231. -zünder 328.
Lupe 438.
Lustgas 252.

M.

M 512.
Magdeburgische Halbkugeln 228.
Magische Spielsachen 222.
Magnet 510. 514.
Magnetische Atmosphäre 513. — Batterie 515. — Ebbe und Fluth 517. — Magazine 515.
Magnetischer Aequator 518. — Meridian 518. — Panzer 513. — Rapport 525. — Schlaf 525. — Wirkungskreis 513.
Magnetisirung 514. 525.
Magnetismus 510. — der Erde 518. — thierischer 525.
Magnetnadel 511. 516. 519.
Magnetoelektrizität 524.
Magnetometer 518.
Manometer 208.
Mariottisches Gesetz 210.
Mars 94. 385.
Maschine 138.
Maß der Kräfte 56.
Masse 9. — der Planeten 94.
Maximum- und Minimum-Thermometer 316.
Mechanische Momente 140. — Potenzen 138. — Theilung 13.
Meerbarometer 208.
Mekaelektrometer 475.
Melodie 276.
Membranförmig 267.
Menisken, Mönchen 439.
Mennige 250.
Menschliche Stimme 283.
Mephitisch 249.
Merkur 94. 385.
Merkwürdige Wärmegrade 321.
Metall; Metalloid 45.
Metallische Erde 250. — Mischungen 10. 26. 355. — Vegetation 38.
Metallkalk; oxyd 250. -reiz 494. -thermometer 307. 318.
Meteorologie 375.
Meter 110.
Metronom 110.
Miasmen 247.
Mikroelektrometer 475. 487.
Mikroskop 455.
Milchwage 182.
Minutenpendel 111.
Mischung 39. 45. -gewichte 47.
Mittelfarbe 447.
Mittel gegen Verbrennen 333.

Digitized by Google

Mittelpunkt der Kräfte 70. — der Schwere 132. — des Schwunges 107.
Mittheilung der Bewegung 51. — der Elektrizität 479. — des Magnetismus 514. — der Wärme 330.
Mittlerer Barometerstand 206.
Mittlere Kraft 61. — Richtung 61. — Zeit 57.
Molekül 7.
Molecules integrantes 21.
Molekülaranziehung 18.
Moment 140.
Mond 92. 94. 395. 401.
Monochord 270.
Montgolfiere 262.
Morgenröthe 448.
Multiplicator 522.
Mürb 26.
Myops 396.

## N.

Nachhall 290.
Naß machen 32.
Nasse Säule 504.
Natrum 89.
Natur 1. -begebenheit 4. -beschreibung; geschichte 2. -erscheinung 4. -gesetz 4. -kunde; lehre 2. -wesen 7. wissenschaft 1.
Natürlicher Spiegel 409.
Nebel 369.
Nebelbild 457.
Nebenstrom 503.
Nebentöne 278.
Negative Brennweite 425. 443. — Elektrizität 473. — Grade 311.
Negativer Brennpunkt 425. 473. — Conductor 474. — Pol 498.
Neigung; Neigungscompaß 517.
Netzhaut 394.
Newton's Thermometer 309.
Nichtleiter 471.
Niederdruck 378.
Niederschlag 46.
Nitrogenium 45. 251.
Niveau 158.
Nivelliren 161.
Nonius 203.
Nordlicht 243.
Nordlinie 516. -pol 511.
Normalkraft; linie 72.

## O.

Oberschale 485.
Objectivfarbe 449. -glas 456. 458. -spiegel 458.
Octave 274.
Ocularglas 456. 458.
Oeffnung des Hohlspiegels 416.
Oele 37.
Oelerzeugendes Gas 257.
Ohm'sches Gesetz 522.
Ohr 293.
Ombres chinoises 392.
Onion'sche Mischung 356.
Operngucker 415.
Optik 383.
Optische Täuschung 402. 435. — Werkzeuge 454.
Optischer Mittelpunkt 416. 440. — Ort 399. — Spiegel 460. — Winkel 399.
Organisch 2.
Orgelpfeife 272. 277.
Orkan 54.
Oscillation 105. 205. 265.
Oscillationswinkel 105.
Oxydation 250.
Oxydirtes Stickgas 252.
Oxygengas 249. -pol 502.
Oxygenium 45.
Oxigenirtes salzsaures Gas 258.
Oxyphores Platin 255.
Ozon 252. 502.

## P.

Panorama 461.
Panzer 513.
Papinianischer Topf 363.
Parabel 101.
Paraboliſcher Spiegel 410. 419.
Paradoron 16. 132. 165.
Parallachse 399.
Parallelogramm der Kräfte 61.
Paralle Lothe 90.
Parallelspiegel 415.
Passevin 185.
Pauckenfell 293.
Pendel 104. 110. 279. 301.
Perkussionsmaschine 126. -schloß 330.
Perihelium 97.
Periſkopiſch 455.
Permanentelaſtiſch 368.
Perpendikel 104.
Perpetuum mobile 122. 505.
Perspective 405.
Phänomen 4.
Philoſophiſche Bäume 22. — Naturwissenschaft 2.
Phlogistisirte Luft 251.
Phosphor 45. 327. -rescenz 454. 488. -säure 45. -wasserstoffgas 255.
Photographie 461.
Photographiſche Bilder 464.
Photomagnetismus 515.
Photometrie 393.
Physik 2.
Physiologie 2.
Physiologiſche Farben 449.
Physisches Bild 424.
Pilotis 84.

Digitized by Google

Planconcav; convex 439.
Planeten 93. 385. 387.
Planglas 438. -spiegel 410. 412.
Platindraht 13. -schwamm 255.
Pneumatik 244.
Pneumatische Feuerzeuge 323. — Wanne 249.
Pol 498. 511.
Polarisation 337. 383. 449.
Polarisirter Strahl 450.
Polarisationswinkel 450.
Polarität 511.
Polarkräfte 469.
Poldraht 498.
Polemoskop 415.
Polyederglas 438.
Polzen 149.
Ponderabel 9.
Porosität 9.
Positive Elektrizität 473. — Grade 311.
Positiver Conductor 474. — Pol 498.
Potenz 138.
Prachtfehrohr 415.
Preßbarkeit 157.
Presbyta 396.
Presse 166.
Primärfarben 448.
Prime 274.
Primitive Form 21.
Psychrometer 379.
Pulshammer 350.
Pulver 329.
Pumpe 215.
Pupille 394. 396.
Purzelmännchen 137.
Pyrheliometer 326.
Pyrometer 319.
Pyrophor 328.
Pyroxilin 329.

## Q.

Quadrantelektrometer 475.
Quantität der Bewegung 51.
Quarte 274.
Queckſilber 45. -ausdehnung 203. 304. 315. -kalk 250.
Quinte 274.

## R.

Radbarometer 205.
Radiusvector 97.
Radwelle 138. 148.
Rammklotz 88.
Rapport 525.
Rauch, Ruß 330.
Rautenglas 438.
Reagentien 46.
Réaumür's Thermometer 310.
Recipient 216.
Rectificirter Weingeiſt 183.
Redende Figur 292.
Reducirung des Dampfes 369. — der Metalle 250. 492.
Reflector 458.
Reflexion 131. 290. 337. 383. 468.
Reflexionsebene 411. -winkel 131.
Refraction 383 429.
Regen 369.
Regenbogen, Regengallen 446. -haut 393. -tropfen 156.
Regulator 73.
Reibung 154.
Reibungscoefficient 155. -elektrizität 468.
Reibzeug; Reiber 469.
Reine Luft 249.
Relative Bewegung 50. — Cohäſion 25. — Eigenſchaften 9. — Kraft 102. — Wärme 347.
Relativer Ort 49.
Relatives Gewicht 176.
Renaldin's Thermometer 310.
Rennthier 54.
Repulſivkraft 7.
Reſtbunn 482.
Reſonanzboden 277.
Reſpective Cohäſion 25. — Gewichte 176. — Kraft 102.
Reſultirende Bewegung 61. — Kraft 61.
Retardirt 58.
Retina 394.
Reverbirlampe 424.
Reverſionspendel 110.
Rheingeſchwindigkeit 54.
Richtung der Schwerkraft 78.
Richtungslinie der Schwere 134.
Rinnſal 173.
Römiſche Wage 147.
Rolle 138. 149.
Rolllampe 138.
Roſe'ſche Miſchung 355.
Roſtmittel 257. 504. -pendel 110. 302.
Rotationsmagnetismus 515.
Ruhe 49. -punkt 138. -ſtellen 268.
Rückſtand 482.
Rückwirkende Cohäſion 25.
Rückwirkung 168.
Rußbendritten 503.
Rutſchberg 113.

## S.

Sättigung 46.
Säule 498. 500. 501.
Säuren 45.
Salmiak 20.
Salpetergas 258.
Salpeterſaure Salzſäure 13.
Salpeterſäure 13. -ſtoffgas 251.
Salz 22. 39. 46. -ſäure 39. -ſpindel 182. -werke 22.
Sammelglas 438. 441. -ſpiegel 410.

Digitized by Google

Sandparadoxon 16. 132. - uhr 57. - wirbel 509.
Saturn 94. 385.
Sauerstoff 45. 247. 249.
Saugpumpe 223. - spitzen 470.
Schädlicher Raum 217.
Schall 265. - geschwindigkeit 55. 287. - stärke 289. - strahl; welle 285.
Schallende Körper 266.
Schatten 389. - spiel 392.
Scheere 147.
Scheidewasser 13.
Scheinbare Bewegung; Ruhe 50. — Größe 399.
Scheinbarer Ort 49. — Durchmesser 399.
Schiefe Ebene 101. 138. 279. — Thürme 137.
Schiefer Stoß 116. 130.
Schießbaumwolle; - pulver 329.
Schillern 447.
Schlagweite 479.
Schließungsdraht 498.
Schlittschuhläufer 54.
Schloßen 84.
Schmelzen 355.
Schmelzungsmittel 355.
Schmierig 26.
Schmiermittel 154.
Schnappwage 146. 147.
Schneckengeschwindigkeit 54.
Schneidwerkzeuge 594.
Schnellbleiche 258. - kraft 28. - wage 146.
Schraube 138. 152.
Schröpfkopf 224.
Schrotgießerei 156.
Schrotleiter 103.
Schwarze Höhle 248.
Schwebung 283.
Schwedische Skale 311.
Schwefel 45. - leberluft 258. - wasserstoffgas 255.
Schwere 18. 76. 88. — der Luft 194.
Schwerpunkt 132.
Schwimmen 185.
Schwingung 105. 273. — einer Wassersäule 171.
Schwingungsarten 267. - gesetze 270. 279. - knoten 268.
Schwung 105. - kugel 73. - maschine 15.
Secundenpendel 107.
Secundarform 21.
Secundäre Farben 448.
Seeschiffe 504. - gesicht 487.
Segner's Wasserrad 168.
Sehe 394. - nerv 395. - winkel 399.
Sehen 380. 393. 396.
Seile 24.
Seilmaschine 33. - tänzer 30. 136.
Seitenkraft 61.
Selbstentzündung 327. - leuchtend 382. - registrirende Thermometer 316. - zünder 328.
Semen lycopodii 33.
Senguerdischer Hahn 217.
Senkel 104.
Senkrechter Stoß 116.
Senkwage 182.
Septime; Serte 274.
Sich selbst sehn 409.
Sicherheitslampe 257. - ventil 363. 373.
Siderallicht 258.
Sieden 357.
Siedepunkt 311. 314. 361.
Silber 46. - baum 22. - glätte 10. - pol 498. - regen 226.
Simmern 358.
Sirene 272.
Sirthermometer 322.
Somnambulismus 525.
Sonne 54. 324. 381.
Sonnenfontaine 222. - mikroskop 456. — und Mondlicht 393. - nähe 97.
Sonometer 270.
Sonore Körper 266.
Soolwage 183.
Spalten der Wärme 338.
Spannkraft 28.
Spannungsreihe 496.
Specifische Expansivkraft 260. - Wärme 338.
Specifisches Gewicht 174. 239. 259.
Spectrum 444. 459.
Speiseröhre 284.
Sphärischer Spiegel 410.
Spiegel 408. - belegung 33. 409. - teleskop 458.
Sprachgewölbe; rohr 292.
Springkölbchen 27. - kraft 28. - werke 170.
Spröde 26.
Sprung aus Wagen 66.
Spundloch 223.
Stabil 134.
Stärke des Lichts 387. — des Schalles 289. — der Volta'schen Säule 503.
Stahl 29. - geläute 282.
Staniol 33.
Starre Körper 19.
Statisches Moment 141.
Staubwirbel 509.
Stechheber 222.
Steigbügel 293.
Steindruck 33.
Sternenflamme 258. - licht 386.
Sternschnuppen 243.
Stethoskop 289.
Stickstoff 45. 246.
Stickluft 192. 251. - oxydul 252.
Stimmritze 284.
Stöchiometrische Zahlen 47.
Stöße 278.
Stoß 51. 116. — elastischer Körper 120.

Digitized by Google

123. — flüssiger Körper 132. - maschine 126. — unelastischer Körper 116. — auf unbewegliche Flächen 130. — weicher Körper 130.
Strahlende Wärme 386.
Strahlenkörper 386.
Streckbar 26.
Streichfeuerzeuge 329.
Strengflüssig 355.
Strom 496. 506. 507.
Subjective Farben 449.
Sublimation 46. 370.
Sucher 460.
Südpol 511. 518.
Sumpfluft 257.
Supraorbitalnerv 501.
Symer'sches System 478.
Symprieelektrisch 472.
Synthese 45.

## T.

Tachyprion 323.
Tact 276. - messer 110.
Tangentialkraft 72.
Tariren 180.
Tartinischer Ton 278.
Taschenperspectiv 458.
Tatties 252.
Taubengeschwindigkeit 54.
Taubes Glas 34.
Taucherglocke 219.
Telegraph 384. 524.
Teleskop 460.
Temperatur 282. 297. 326. 327.
Terpentinöl 37.
Terze 274.
Tesseral 450.
Tetrachord 270.
Textur 20.
Thau 369.
Thaumatrop 404.
Theilbarkeit 12.
Thermoelektrizität 507. - magnetismus 515.
Thermometer; Thermoskop 307. 360. - kugel 315.
Thermometrische Höhenmessung 351. — Substanz 307.
Thermometrisches Gleichgewicht 331.
Thermometrograph 316.
Thierische Elektrizität 494. 507.
Thierischer Magnetismus 525.
Tiefe der Löcher 132.
Tiefer Ton 278. 277.
Todte Natur 2.
Ton 278. - leiter 274. - messer 270. - stück 276. - verhältnisse 272.
Toricelli'sche Leere; Röhre 196.
Trägheit 14.
Traghebel 151. - kraft 30. 147. 513.
Transmissionsvermögen 387.
Transversalschwingungen 267.
Trinken 228.
Trockne Destillation 46. 370. — Säule 504.
Trogapparat 499.
Trommel 485. - fell 296.
Tropfbar 19.
Tropfen 36. 156. - verbreitung 37.
Tubus 458.
Turmalin 507.

## U.

Ueberfahrt eines Kahns 64.
Uebergangswiderstand 522.
Umlaufzeit 96.
Undulation 171. 296. 380.
Undurchdringliches im Raume 14.
Undurchdringlichkeit 8.
Ungleichförmige Bewegung 57.
Ungleichnamige Pole 512.
Unisson 274.
Unitarier 476.
Unorganisch 2.
Unsichtbare Schrift 10.
Unsichtbares Licht 466.
Unsperrbar 294.
Unterlage 138.
Unterscheibe 485.
Unveränderliches Pendel 110.
Unwägbar 9. 295.
Uppdracht 437.
Uranus 94. 385.
Urfarben 445.
Ursprünglich elektrisch 472. — leuchtend 382.
Ursprüngliche Bewegung 51.
Urstoffe 45.

## V.

Variation 517.
Ventil 216.
Ventilator 248.
Ventriloque 293.
Venus 94. 385.
Verbindungen 47.
Verbrennung 250. 329. 358.
Verdichtungspumpe 229.
Verdunsten 353. 356. 366.
Verdünnte Schwefelsäure 45. 252.
Verdünnung der Luft 231.
Verkalkung 250.
Verschluckung 387.
Versetzung 26.
Verstärkungsflasche 481. - tafel 484.
Versuch 4.
Vertheilung 480. 512.
Vertieftes Glas 438.
Vertreibung der Tropfen 37.
Verwandlungen 426. 438.

Digitized by Google

Verwandtschaft 38. 46.
Verzögert 58.
Verzögerungsbecher 221.
Vibration 105. 171. 265.
Vibrationssystem 380.
Viscosität 40.
Visir 101.
Vitriolöl 38. 253.
Volta'sche Säule 498.
Volumen 9.
Volumeter 182.
Vorfenster 335.
Vorderfläche; seite 441.
Vorlage 370.

## W.

Wägbar 9. 296.
Wärme 294. - intensität 296. - erregung 322. - leiter 331. 334. - messer 307. - stoff 296. - Wellen 296.
Wage 146.
Wahlverwandtschaft 46.
Wahre Größe 400. — Zeit 57.
Wahrnehmung des Schalles 292.
Walken 26.
Wässerige Feuchtigkeit 394.
Wasser 157. 340. - ausdehnung 181. 304. - druck 161. - gas 258. - hammer 84. - hosen 508. - kasten 224. - rad 168. - röhre 373. - spiegel 158. - stoffgas 253. - uhr 57. - wage 161.
Wechselseitige Anziehung 76. 109.
Weich 26.
Weingeist 183. - ausdehnung 304.
Weißer Arsenik 250.
Weitsichtig 396.
Welle 148.
Wellen 171. 285. 296. 380. - berg; thal 171. - beruhigung; beugung; interferenz 173.
Wetterglas 207. - leuchten; lichter 508.
Widerstand des Mittels 153.
Wiedererweckung 251. - hall 290. - herstellung 250.
Wille 14.
Wind 54. 369. - büchse 230. - harfe 278. - hund 54. - kammer 230. - kessel 224. - rädchen 248. - rose 516.
Winkelgeschwindigkeit 56. - hebel 139. 145. - spiegel 415.
Wirbel 173.
Wirkliches Bild 424.
Witterungskunde 375.
Woge 171.
Wogen 502.
Wolken 369.
Wonnegas 252.
Wunderdreher 404.
Wurf 99. - geschwindigkeit 114.

## Y.

Yard 110.

## Z.

Zähe 28.
Zamboni'sche Säule 505.
Zapfen 146.
Zauberbrunnen 222. - laterne 457. - perspectiv 415.
Zeitgleichung 57.
Zellenapparat 499.
Zerbrechlich 26.
Zerlegung der Kräfte 63. — der Luft 245. — des Wassers 252. 488. 502.
Zerrbilder 426. 438.
Zersetzen 355. 369.
Zerstreuung der Wärme 337.
Zerstreuungsgläser 438. 443. - punkt; weite 425. 443. - spiegel 410. 425.
Ziehkraft 7.
Zink 47. - ende; pol 498. - dach 504. - kohlenkette 500.
Zinn 45. 46. - asche 250. - baum 22.
Zinnober 13.
Zug 51.
Zündhölzchen 329. - hütchen 330. - lampe; maschine 255. 492.
Zuleiter 469.
Zunge 147.
Zurückprallwinkel 131.
Zurückwerfung 131. 290. 337. 383. 408.
Zurückwerfungswinkel 411.
Zusammengesetzte Bewegung 60. — Magnete 512.
Zusammenhang 19.
Zuschlag 355.
Zwischenräume 9.



Digitized by Google

# Druckfehler.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Seite | 54. | Zeile | 10 von oben | lies eine Sekunde statt eine. |
| „ | 76. | „ | 3 „ „ | „ Waſſertröpfchen statt Waſſentröpfchen. |
| „ | 87. | steht Figur 47 verkehrt. | | |
| „ | 89. | Zeile | 2 von unten | lies nach dem statt demnach. |
| „ | 98. | „ | 1 „ „ | „ Guglielmini statt Guylielmini. |
| „ | 104. | „ | 16 „ oben | „ (Fig. 49. Seite 102) statt (Fig. 49. Seite 102 |
| „ | 112. | „ | 17 „ unten | „ Geſchwindigkeiten statt Endgeſchwindigkeiten. |
| „ | 116. | „ | 4 „ oben | „ ein statt einen. |
| „ | 120. | „ | 21 „ unten | „ 12 statt 42. |
| „ | 129. | „ | 6 „ oben | „ $^{256}/_{000}$ statt $^{256}/_{000}$. |
| „ | 224. | „ | 1 „ „ | „ höchſten statt nächſten. |
| „ | 234. | „ | 9 „ „ | „ haben statt aben. |
| „ | 235. | „ | 7 „ „ | „ log statt lvg. |
| „ | 253. | „ | 8 „ „ | „ Eiſendraht statt Waſſerdraht. |
| „ | 254. | „ | 23 „ unten | „ Glaskugel statt Gaskugel. |
| „ | 257. | „ | 20 „ oben | „ ſo wie statt ſo wird. |
| „ | 262. | „ | 7 „ unten | „ und statt nach. |
| „ | 305. | „ | 2 „ „ | „ Zeiger statt Zeigefinger. |
| „ | 306 | iſt Figur 123 ausgelaſſen; ſie ſteht auch Seite 298. | | |
| „ | 319. | Zeile | 16 von unten | lies allerlei statt aller. |
| „ | 331. | „ | 25 „ oben | „ nicht ſo kalt statt ſo kalt. |
| „ | 364. | „ | 29 „ „ | „ § 181 statt 281. |
| „ | 401. | „ | 13 „ „ | „ nach statt auch. |
| „ | 411. | „ | 20 „ „ | „ nun statt nur. |
| „ | 449. | „ | 6 „ „ | „ phyſiologiſche statt phhyſiologiſche. |
| „ | 458. | „ | 23 „ unten | „ Brennweiten statt Beennweiten. |

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Populare experimental physik.
Cabot Science 003877324
3 2044 091 842 864